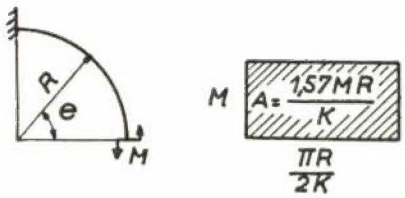
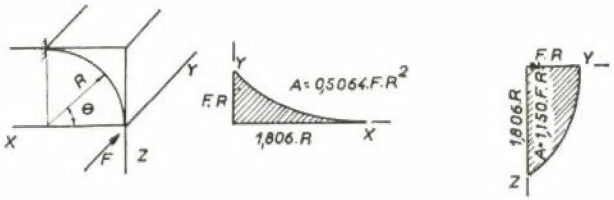


$$\phi_M = \frac{1{,}5708 \,.\, M \,.\, R}{K\,E\,I}$$

$$\begin{cases} \Delta_M = \phi_M \,.\, 0{,}637 \,.\, R \\ \Delta\perp M = \phi_M \,.\, 0{,}363 \,.\, R \end{cases}$$

7.º caso

Curva de 90° fixa numa extremidade e carregada na outra por uma força F perpendicular ao plano da curva.



$$\phi_{xy} = \frac{0{,}5064 \,.\, F \,.\, R^2}{E\,I} \qquad \Delta F_{xy} = \phi_{xy} \,.\, 0{,}754 \,.\, R$$

deslocamento na direcção da força

$$\phi_{zy} = \frac{1{,}150 \,.\, F \,.\, R^2}{E\,I} \qquad \Delta F_{zy} = \Delta_{zy} \,.\, 0{,}754 \,.\, R$$

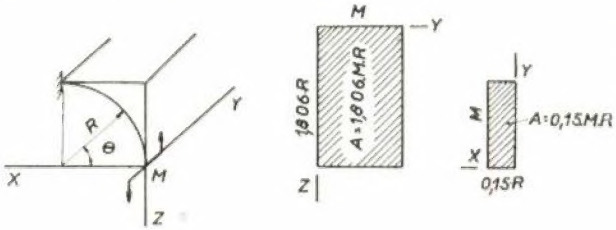
deslocamento na direcção da força

$$\Delta F_y = \Delta F_{xy} + \Delta F_{zy} = \frac{1{,}2485 \,.\, F \,.\, R^3}{E\,I}$$

deslocamento total na direcção da força

8.º Caso

Curva de 90° fixa numa extremidade e actuada na outra por um momento M num plano perpendicular ao plano da curva.



$$\phi_{M_{xy}} = \frac{0{,}150\ M\,R}{E\,I} \qquad \Delta M_{xy} = \phi_{M_{xy}} \,.\, 0{,}695 \,.\, R$$

deslocamento para a esquerda ao longo do braço do momento.

$$\phi_{M_{yz}} = \frac{1{,}806\ M\,R}{E\,I} \qquad \Delta M_{yz} = \phi_{M_{yz}} \,.\, 0{,}695 \,.\, R$$

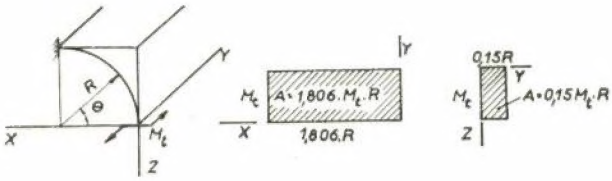
deslocamento para a direita ao longo do braço do momento.

$$\Delta M_y = \Delta M_{yz} - \Delta M_{xy} = \frac{1{,}150 \,.\, M\,R^2}{E\,I}$$

deslocamento resultante.

9.º Caso

Curva de 90° fixa numa extremidade e actuada por um momento de torsão M_t no plano perpendicular à extremidade livre da curva.



$$\phi_{xy} = \frac{1{,}807 \,.\, M_t \,.\, R}{E\,I} \qquad \Delta M_{t_{xy}} = \phi_{xy} \,.\, 0{,}306 \,.\, R$$

deslocamento para a direita perpendicular ao plano da curva.

$$\phi_{yz} = \frac{0{,}150 \,.\, M_t \,.\, R}{E\,I} \qquad \Delta M_{t_{yz}} = \phi_{yz} \,.\, 0{,}306 \,.\, R$$

deslocamento para a esquerda perpendicular ao plano da curva.

$$\Delta M_{t_y} = \Delta M_{t_{xy}} - \Delta M_{t_{yz}} = \frac{0{,}5064 \,.\, M_t \,.\, R^2}{E\,I}$$

deslocamento resultante.

O 1.º e 2.º casos têm K coeficiente de flexibilidade igual a 1.

O 3.º caso tem-no igual a 1,30.

No 4.º 5.º, e 6.º casos as abcissas dos diagramas são os comprimentos reais do desenvolvimento das curvas modificadas pelo factor de flexibilidade K.

$$K = \frac{1 + 12\,h^2}{10 + 12\,h^2} \text{ em que } h = \frac{e \,.\, R}{r_m^2}$$

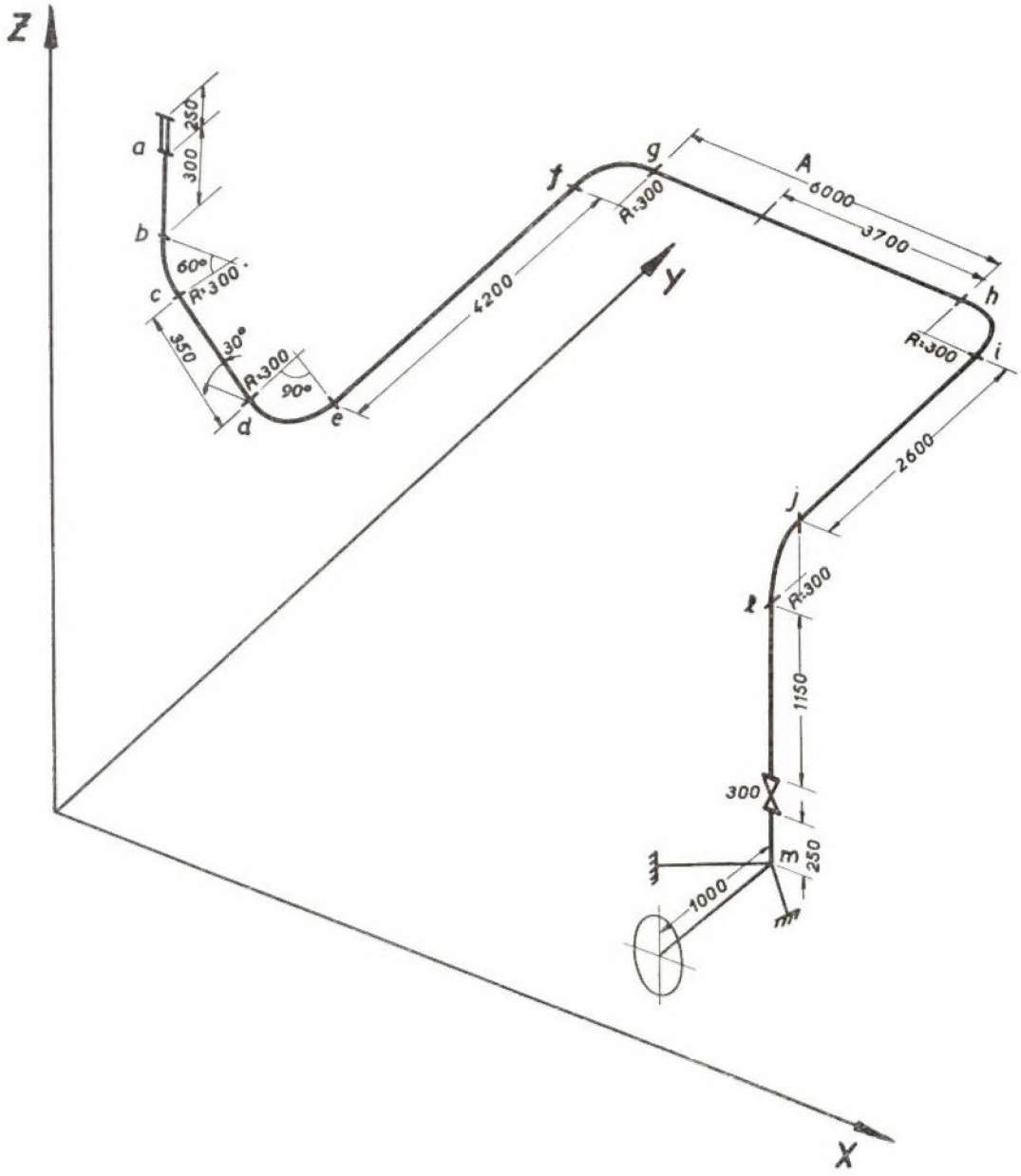
Sendo e a espessura da conduta.

No 7.º, 8.º e 9.º casos as abcissas dos diagramas de momentos flectores são 1,8 vezes o raio médio da curva. O factor 1,8 ocorre pelos esforços combinados de torsão e flexão.

6. Suponhamos a seguinte conduta

Características do material:

$\alpha = 13{,}2 \,.\, 10^{-6}$ mm/°C (a 462° C)



Pretende-se determinar as tensões nos pontos onde a conduta está fixada (pontos *a* e *m*).

A conduta tem os seguintes diâmetros e espessura:

$D = 76$ mm $\quad d = 68$ mm $\quad r_m = 36$ mm

$$e = \frac{D - d}{2} = 4 \text{ mm}$$

e está sujeita às condições:

$t = 463°$ C

$p = 42$ atm.

$E = 2{,}1 \,.\, 10^6$ kg/cm² (a 15° C)

$I = 58{,}9$ cm⁴

Deslocamento do ponto *a*:

$\Delta = l \,.\, \alpha \,.\, (462° - 15°\text{ C})$

$\Delta X = 0$

$\Delta Y = 0$

$\Delta Z = -250 \,.\, 13{,}2 \,.\, 10^{-3} \,.\, 447 = -1{,}48$ mm

Deslocamento do ponto *m*;

$\Delta X = 0$

$\Delta Y = 1000 \,.\, 13{,}2 \,.\, 10^{-6} \,.\, 447 = 5{,}914$ mm

$\Delta Z = 0$

Expansão do tubo :

$$\Delta X = (150 + 302{,}4 + 259{,}2 + 6.600) \,.\, 13{,}2 \,.\, 10^{-6} \,.\, 447 = 43{,}241 \text{ mm}$$

$$\Delta Y = (4.200 - 2.600) \,.\, 13{,}2 \,.\, 10^{-6} \,.\, 447 = 9{,}462 \text{ mm}$$

$$\Delta Z = (259{,}2 + 325 + 300 + 1.150 + 550) \,.\, 13{,}2 \,.\, 10^{-6} \,.\, 447 = -15{,}283 \text{ mm}$$

$$\frac{EI\Delta Y}{L^2} = 1{,}2369.10^4 (-0{,}3548) = -0{,}439.10^4$$

$$\frac{EI\Delta Z}{L^2} = 1{,}2369.10^4 . 1{,}6763 = 2{,}073.10^4$$

No Quadro I temos duas colunas relativas a coeficientes de flexibilidade. Estas colunas são preenchidas comparando os diversos troços a — b, b — c, ... com os 9 casos atrás. Porém o troço b — c é um caso diferente por o ângulo da curva ser de 60°. Os valores de K tanto para a flexão como para a torsão virão modificados. No entanto para não alongar demasiado este trabalho não referirei como se os pode obter devendo para o efeito consultar-se «Piping Flexibility and Stresses», by A. D. Vinieratos and D. R. Zeno, 1941. Idênticamente acontece para os valores 1,15 da torsão.

QUADRO I

Troço	r_m mm	R mm	Θ	$h = \frac{eR}{r_m^2}$	Factor de flexibilidade Flexão		Factor de flexibilidade Torsão		I cm⁴	Comprimento real mm	Comprimento equivalente Comprimento Básico m		
					K	Plano	K	Plano			xy	yz	xz
a — b	36				1	zx zy	1,3	xy	58,9	300	0.390	0,300	0,300
b — c	36	300	60°	0,926	1,8 × 1,045	zx	1,265 1,135	xy zy	58,9	300	0,380	0,341	0,564
c — d	36				1	zx	1,15	xy zy	58,9	350	0,403	0,403	0,350
d — e	36	300	90°	0,926	1,8	xy	1,15	zy zx	58,9	471	0,848	0,542	0,542
e — f	36				1	xy zy	1,3	zx	58,9	4200	4,200	4,200	5,460
f — g	36	300	90°	0,926	1,8	xy	1,15	zy zx	58,9	471	0,848	0,542	0,542
g — h	36				1	xy zx	1,3	zy	58,9	6000	6,000	7,800	6,000
h — i	36	300	90°	0,926	1,8	xy	1,15	xz yz	58,9	471	0,848	0,542	0,542
i — j	36				1	zy xy	1,3	zx	58,9	2600	2,600	2,600	3,380
j — l	36	300	90°	0,926	1,8	zy	1,15	xy xz	58,9	471	0,542	0,848	0,542
l — m	36				1	zy zx	1,3	xy	58,9	1700	2,210	1,700	1,700

Expansão real do tubo :

$\Delta X = -43{,}241$ mm

$\Delta Y = -9{,}462 + 5{,}914 = 3{,}548$ mm

$\Delta Z = 15{,}283 + 1{,}48 = 16{,}763$ mm

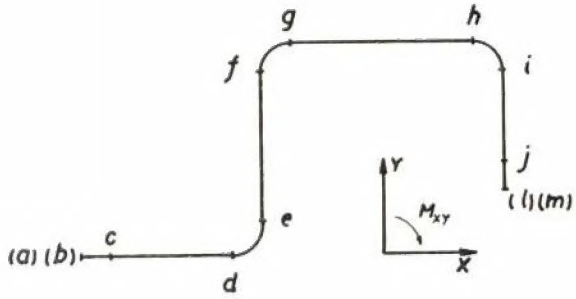
Constantes equivalentes a $\frac{EI\,e_x}{L^2}$ e $\frac{EI\,e_y}{L^2}$ do exemplo atrás (fig. 14).

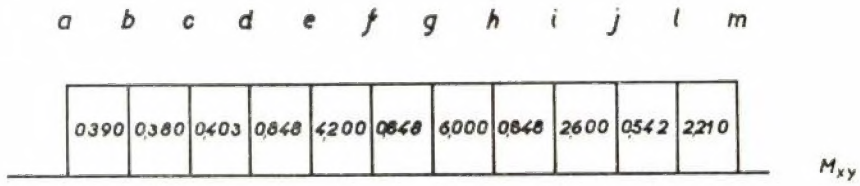
$$\frac{EI\Delta X}{L^2} = \frac{2{,}1 \,.\, 10^6 \,.\, 58{,}9}{10^4} \cdot (-4{,}3241) = -1{,}2369 \,.\, 10^4 \,.\, 4{,}3231 = -5{,}348 \,.\, 10^4$$

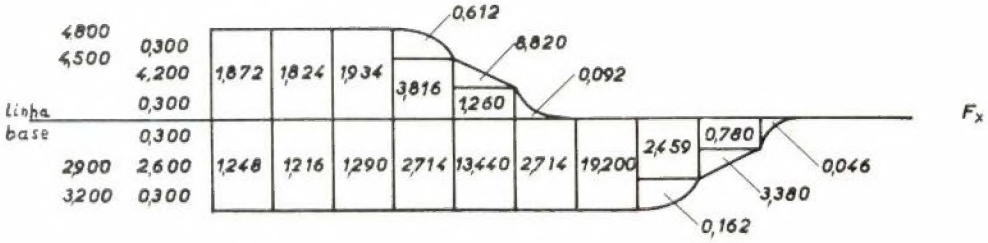
A partir destes valores fàcilmente se obtêm os comprimentos equivalentes de cada troço nos três planos considerados.

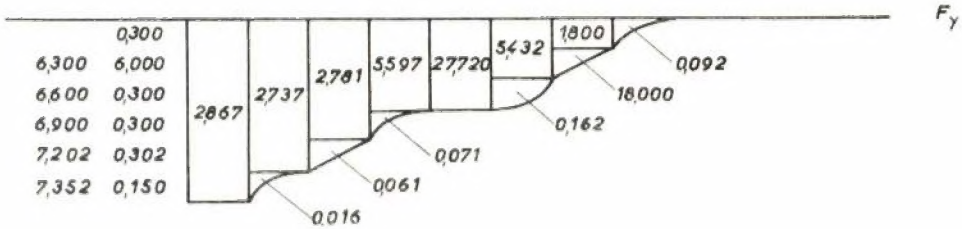
Agora constroem-se os diagramas de momentos flectores separadamente para cada um dos planos e para cada uma das forças e momento actuante nesse plano.

Plano XY





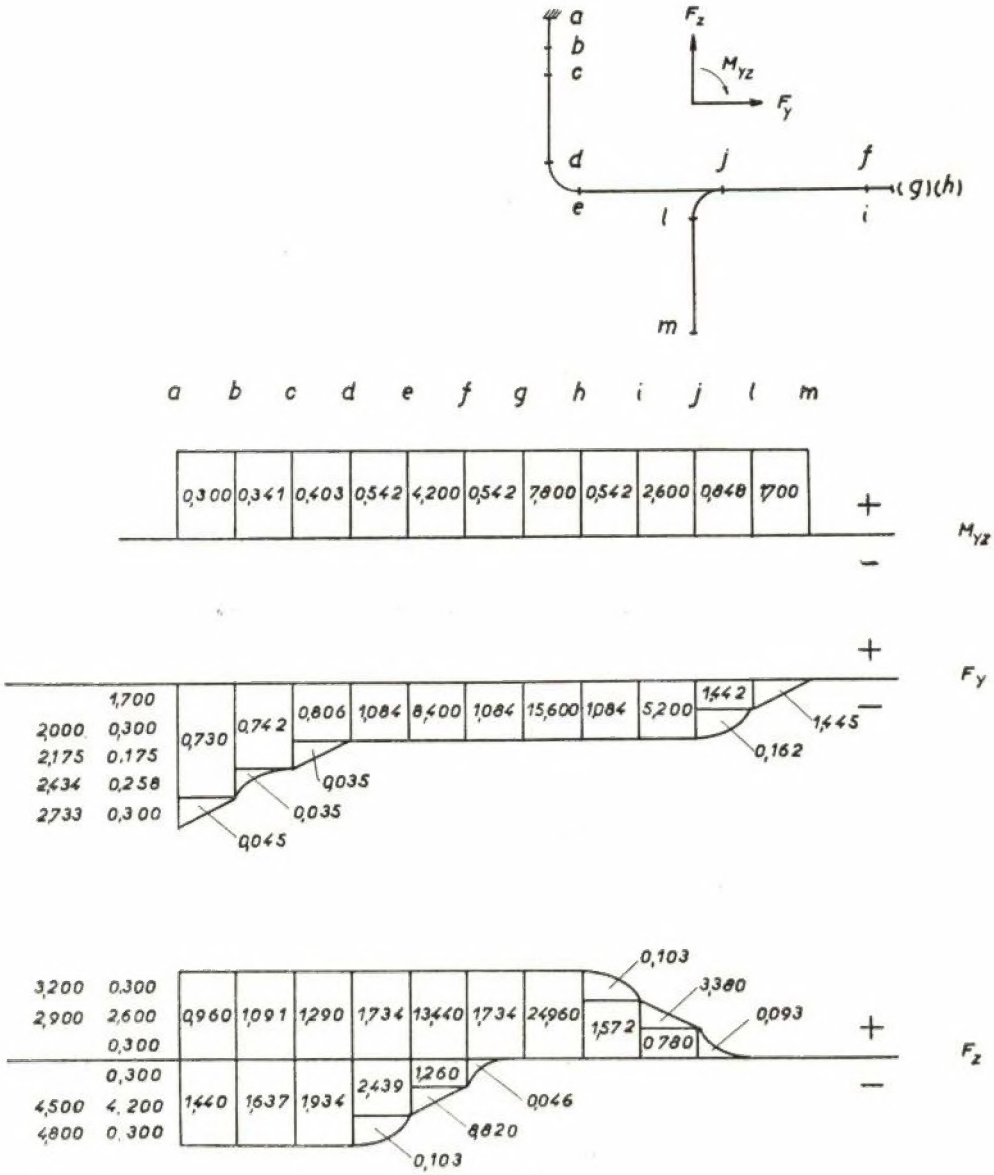




Para o M_{xy} a altura do diagrama é o próprio valor M_{xy} (que se pretende determinar). As áreas valem portanto os comprimentos equivalentes (Quadro I). Para a força F_x o primeiro troço do plano XY a sofrer flexão é l — j (considere-se a partir da extremidade livre da conduta para a extremidade fixa). A altura daquela área é portanto o raio 0,300. Segundo o 7.º caso apresentado $A = 0{,}5064 \cdot R^2 = 0{,}046$. Esta área foi marcada para baixo da linha base por dar lugar a uma flexão no sentido contrário ao do movimento dos ponteiros dum relógio e portanto negativa. O mesmo se passa com o troço j—i e o troço i—h comparados respectivamente com o 1.º e 4.º casos. Estes momentos transmitem-se até ao ponto *a*. O troço g—f dá origem a um momento agora em sentido contrário aos anteriores e por isso marcam-se para cima da linha base.

Procede-se semelhantemente para a força F_y e também para as forças e momentos actuantes nos planos YZ e XZ que aparecem em continuação.

Plano YZ



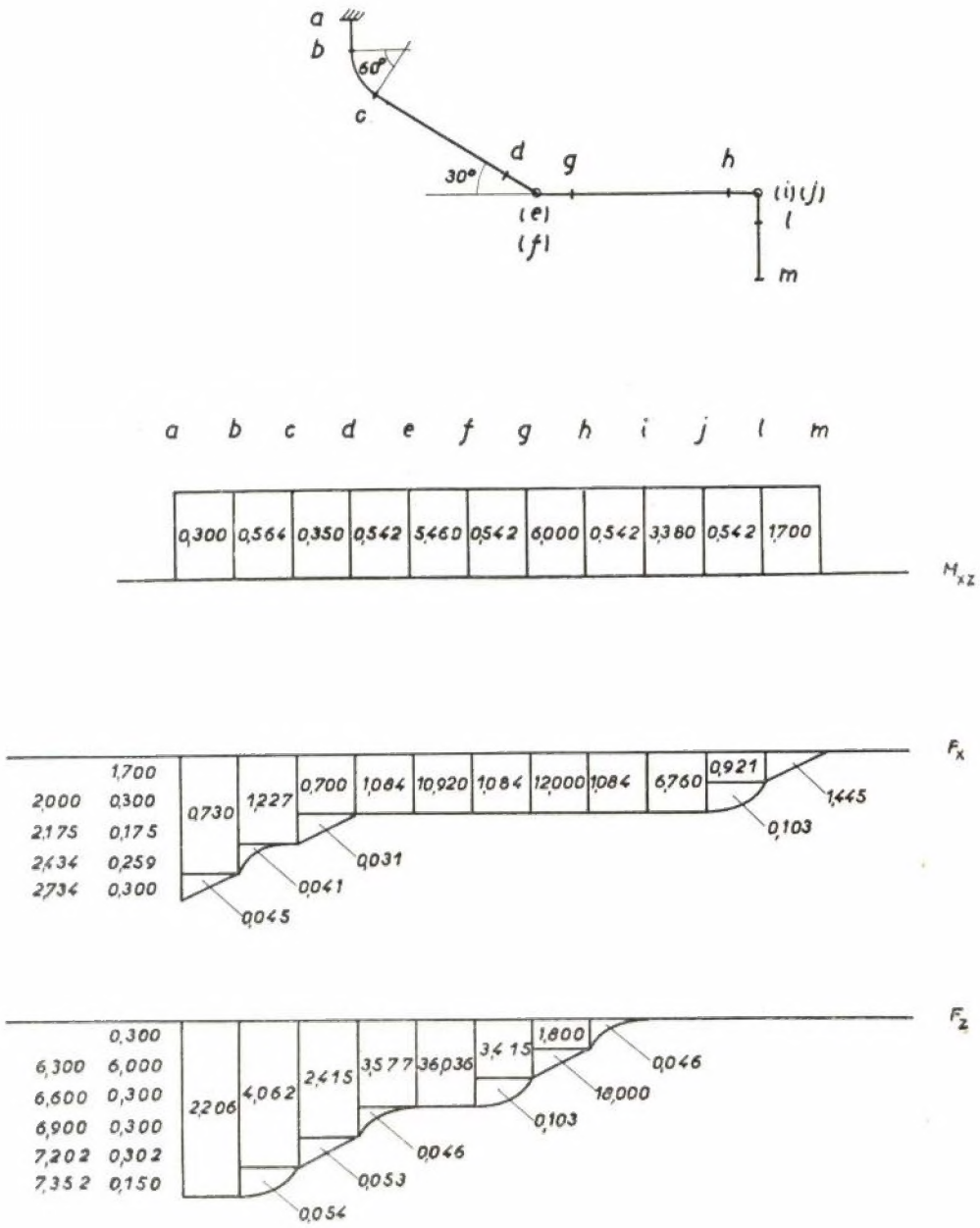
O Quadro II é preenchido começando pelas colunas EIø por exemplo da força F_x. No ponto b por diferença das áreas do diagrama de momentos flectores devidos a F_x obtemos 1,872 — 1,248 = = 0,624.

Ao passar-se para o ponto c soma-se ao anterior a rotação 1,824 — 1,216 = 0,608 etc... Estas colunas estão portanto somadas para cada uma das forças e também para o momento.

Para as colunas relativas aos braços elas são agora preenchidas com os comprimentos reais como por exemplo para o troço e — f (ponto f) cujo comprimento real é 4,200. A segunda linha deste ponto f refere-se ao 1.º caso e o valor 2,800 não é mais do que $\frac{2}{3}$ de 4,200; igualmente para a 3.ª linha referente ao ponto f em que 2,100 é $\frac{1}{2}$ de 4,200 como foi tabelado pelo 2.º caso. O mesmo acontece por exemplo com o ponto j. Para o ponto d considerou-se a projecção de c — d no plano XY e por isso aparece 0,302 = 350 × cos 30°. Como anteriormente a 2.ª linha é igual a $\frac{2}{3}$ daquele valor e a 3.ª linha $\frac{1}{2}$.

Os pontos *f* e *j* estão na coluna do X por os

Plano XZ



deslocamentos devidos a flexões se medirem segundo aquele eixo. O ponto *d* pelo contrário está na coluna do Y pela mesma razão. Mas pontos há que ocupam as duas colunas como as curvas. Vejamos o ponto *g* na coluna da força F_x. Na 1.ª linha está o raio da curva. Na 2.ª linha (compare-se com o 5.º caso) temos $\Delta F_a = \phi_{Fa}.0{,}624.R$ e $\Delta_{\perp Fa} = \phi_{Fa}.0{,}876.R$.

Ora na coluna do X temos $0{,}187 = 0{,}624 \times 0{,}300$ e na coluna do Y $0{,}263 = 0{,}876 \times 0{,}300$. Na 3.ª linha (compare-se com o 6.º caso) temos $\Delta M = \phi_M.0{,}637R$ e $\Delta_{\perp M} = \phi_M.0{,}363.R$. É portanto $0{,}637 \times 0{,}300 = 0{,}191$ e $0{,}363 \times 0{,}300 = 0{,}109$.

As duas colunas seguintes são portanto os valores dos deslocamentos que se apresentam somadas no final do quadro.

Os Quadros III e IV referem-se aos planos YZ e XZ respectivamente.

QUADRO II

— plano X Y

Ponto	F_X					F_Y					M_{XY}				
	$\frac{EI\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EI\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EI\phi}{L} = M$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = M$	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
b	0,624		—		—	— 2,867		—		—	0,390		—		—
c	0,624		0,150		— 0,094	— 2,867		0,150		0,430	0,390		0,150		— 0,058
						— 0,016		0,156		0,002					
	0,608		0,120		— 0,073	— 2,737		0,120		0,328	0,380		0,120		— 0,046
d	1,232		0,302		— 0,372	— 5,620		0,302		1,697	0,770		0,302		— 0,232
						— 0,061		0,201		0,012					
	0,644		0,151		— 0,097	— 2,781		0,151		0,420	0,403		0,151		— 0,061
e	1,876	0,300	0,300	0,563	— 0,563	— 8,462	0,300	0,300	— 2.539	2,539	1,173	0,300	0,300	0,352	— 0,35²
	0,162	0,236	0,150	0,038	— 0,024	— 0,071	0,263	0,187	— 0,019	0,113					
	1,102	0,191	0,109	0,210	— 0,120	— 5,597	0,191	0,109	— 1,069	0,610	0,848	0,191	0,109	0,162	— 0,092
f	3,140	4,200		13,188		— 14,130	4,200		— 59,346		2,021	4,200		8,488	
	8,820	2,800		24,616											
	— 12,180	2,100		— 25,578		— 27,720	2,100		— 58,212		4,200	2,100		8,820	
g	— 0,220	0,300	0,300	— 0,066	0,066	— 41,850	0,300	0,300	— 12,555	12,555	6,221	0,300	0,300	1,866	— 1,866
	0,092	0,187	0,263	0,017	— 0,049	— 0,162	0,150	0,236	— 0,002	0,004					
	— 2,714	0,109	0.191	— 0,296	0,518	— 5,342	0,109	0,191	— 0,582	1,020	0,848	0,109	0,191	0,092	— 0,162
h	— 2,842		6,000		17,052	— 47,354		6,000		284,124	7,069		6,000		— 42,414
						— 18,000		3,996		71,928					
	— 19,200		3,000		57,600	— 1,800		3,000		5,400	6,000		3,000		— 18,000
i	— 22,042	0,300	0,300	6,613	6,613	— 67,154	0,300	0,300	20,146	20,146	13,069	0,300	0,300	— 3,921	— 3,921
	— 0,162	0,236	0,150	0,038	0,024	— 0,092	0,263	0,187	0,024	0,017					
	— 2,459	0,191	0,109	0,470	0,268						0,848	0,191	0,109	— 0,162	— 0,092
j	— 24,663	2,600		64,124		— 67,246	2,600		174,840		13,917	2,600		— 36,184	
	— 3,380	1,732		5,854											
	— 0,780	1,300		1,014							2,600	1,300		— 3,380	
l	— 28.823	0,300		8,647		— 67,246	0 300		20,174		16,517	0,300		— 4,955	
	— 0,046	0,226		0,010											
											0,542	0,084		— 0,045	
m	— 28,869	—		—		— 67,246	—		—		17,059	—		—	
											2,210	—		—	
	— 28,869			99,542	80,749	— 67,246			80,860	401,245	19,269			— 28,867	— 67,296

QUADRO III

— plano YZ

Ponto	F_Y					F_Z					M_{YZ}				
	$\frac{EI\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EI\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EI\phi}{L} = M$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = M$	
		Y	Z	Y	Z		Y	Z	Y	Z		Y	Z	Y	Z
b	— 0,045	0,200		0,009											
	— 0,730	0,150		0,109		— 0,480	0,150		0,072		0,300	0,150		— 0,045	
c	— 0,775	0,260		0,201		— 0,480	0,260		0,125		0,300	0,260		— 0,078	
	— 0,035	0,156		0,005											
	— 0,742	0,102		0,076		— 0,546	0,102		0,056		0,341	0,102		— 0,035	
d	— 1,552	0,175		0,272		— 1,026	0,175		0,179		0,641	0,175		— 0,112	
	— 0,035	0,116		0,004											
	— 0,806	0,088		0,071		— 0,644	0,088		0,057		0,403	0,088		— 0,035	
e	— 2,393		0,300		0,718	— 1,670		0,300		0,501	1,044		0,300		— 0,313
						— 0,103		0,236		0,024					
	— 1,084		0,191		0,207	— 0,705		0,191		0,135	0,542		0,191		— 0,104
f	— 3,477		4,200		14,603	— 2,478		4,200		10,408	1,586		4,200		— 6,661
						— 8,820		2,800		24,696					
	— 8,400		2,100		17,640	— 12,180		2,100		— 25,578	4,200		2,100		— 8,820
g	— 11,877		0,300		3,563	0,882		0,300		— 0,265	5,786		0,300		— 1,736
						— 0,046		0,263		0,012					
	— 1,084		0,191		0,207	1,734		0,191		— 0,331	0,542		0,191		— 0,104
h	— 12,961		—		—	2,570		—		—	6,328		—		—
	— 15,600		—		—	24,960		—		—	7,800		—		—
i	— 28,561		0,300		— 8,568	27,530		0,300		8,259	14,128		0,300		4,238
						0,103		0,226		0,023					
	— 1,084		0,191		— 0,207	1,572		0,191		0,300	0,542		0,191		0,104
j	— 29,645		2,600		— 77,077	29,205		2,600		75,933	14,670		2,600		38,142
						3,380		1,732		5,854					
	— 5,200		1,300		— 6,760	0,780		1,300		1,014	2,600		1,300		3,380
l	— 34,845	0,300	0,300	10,453	— 10,453	33,365	0,300	0,300	— 10,009	10,009	17,270	0,300	0,300	— 5,181	5,181
	— 0,162	0,236	0,150	0,038	— 0,024	0,093	0,263	0,187	— 0,024	0,017					
	— 1,442	0,191	0,105	0,324	— 0,185						0,848	0,191	0,105	— 0,162	0,089
m	— 36,449	1,700		61,963		33,458	1,700		— 56,879		18,118	1,700		— 30,801	
	— 1,445	1,132		1,636											
											1,700	0,850		— 1,445	
	— 37,894			75,161	— 66,336	33,458			— 66,423	111,011	19,818			— 37,894	33,396

QUADRO IV

— plano X Z

Ponto	Fx					Fz					$Mx\,z$				
	$\frac{EI\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EI\phi}{L} = LF$	Braço e Direcção		$\frac{EI\Delta}{L^2} = FL$		$\frac{EL\phi}{L} = FL$	Braço e Direcção		$\frac{ET\Delta}{L^2} = M$	
		X	Z	X	Z		X	Z	X	Z		X	Z		
b	— 0,045	0,200		0,009											
	— 0,730	0,150		0,109		— 2,206	0,150		0,331		0,300	0,150		— 0,045	
c	— 0,775	0,150	0,259	0,116	0,201	— 2,206	0,150	0,259	0,331	0,571	0,300	0,150	0,259	— 0,045	— 0,078
	— 0,041	0,156	0,156	0,006	0,006	— 0,054	0,156	0,156	0,008	0,008					
	— 1,227	0,120	0,069	0,147	0,085	— 4,062	0,120	0,069	0,487	0,280	0,564	0,120	0,069	— 0,068	— 0,039
d	— 2,043	0,302	0,302	0,617	0,617	— 6,322	0,302	0,302	0,191	0,191	0,864	0,302	0,302	— 0,261	— 0,261
	— 0,031	0,201	0,201	0,006	0,006	— 0,053	0,201	0,201	0,011	0,011					
	— 0,700	0,151	0,151	0,106	0,106	— 2,415	0,151	0,151	0,365	0,365	0,350	0,151	0,151	— 0,053	— 0,053
e	— 2,774		0,300		0,832	— 8,790		0,300		2,637	1,214		0,300		— 0,364
						— 0,046		0,226		0,010					
	— 1,084		0,084		0,091	— 3,577		0,084		0,300	0,542		0,084		— 0,045
f	— 3,858	—		—		— 12,413	—		—		1,756	—		—	
	— 10,920	—		—		— 36,036	—		—		5,460	—		—	
g	— 14,778		0,300		4,433	— 48,449		0,300		14,535	7,216		0,300		— 2,165
						— 0,103		0,226		0,023					
	— 1,084		0,191		0,207	— 3,415		0,191		0,652	0,542		0,191		— 0,103
h	— 15,862		6,000		95,172	— 51,967		6,000		311,802	7,758		6,000		— 46,548
						— 18,000		3,996		71,928					
	— 12,000		3,000		36,000	— 1,800		3,000		5,400	6,000		3,000		— 18,000
i	— 27,862		0,300		8,359	— 71,767		0,300		21,530	13,758		0,300		— 4,127
						— 0,046		0,226		0,010					
	— 1,084		0,084		0,091						0,542		0,084		— 0,045
j	— 28,946	—		—		— 71,813	—		—		14,300	—		—	
	— 6,760	—		—							3,380	—		—	
l	— 35,706	0,300		10,784		— 71,813	0,300		21,544		17,680	0,300		— 5,304	
	— 0,103	0,226		0,023											
	— 0,921	0,191		0,176							0,542	0,191		— 0,103	
m	— 36,730	1,700		62,441		— 71,813	1,700		122,082		18,222	1,700		— 30,977	
	— 1,445	1,132		1,636											
											1,700	0,850		— 1,445	
	— 38,175			76,176	146,206	— 71,813			145,350	430,253	19,922			— 38,301	— 71,828

Forma-se o sistema de seis equações a seis incógnitas. As constantes do segundo membro foram já calculadas nos primeiros passos do problema.

	F_xL	F_yL	F_zL	M_{xy}	M_{yz}	M_{xz}	Const.
ΔX	99,542 76,176 175,718	80,804	145,778	−28,868		−38,238	$-5{,}348 \cdot 10^4$
ΔY	80,804	401,245 75,161 476,406	−66,379	−67,271	−37,894		$-0{,}439 \cdot 10^4$
∇Z	145,778	−66,379	111,011 430,253 541,264		33,427	−71,820	$2{,}073 \cdot 10^4$
ϕ_{xy}	−28,868	−67,271		19,269			0
ϕ_{yz}		−37,894	33,427		19,818		0
ϕ_{xz}	−38,238		−71,820			19,922	0

Este sistema deve ser simétrico, mas nem sempre se consegue essa simétrica a partir dos quadros II, III e IV. Pode tomar-se a média quando os números não diferem muito; foi o que aconteceu com 80,804 média de 80,749 com 80,860.

$$M_{xy} = \frac{28{,}868}{19{,}269} F_xL + \frac{67{,}271}{19{,}269} F_yL = 1{,}498\ F_xL + 3{,}491\ F_yL$$

$$M_{yz} = \frac{37{,}894}{19{,}818} F_yL - \frac{33{,}427}{19{,}818} F_zL = 1{,}912\ F_yL - 1{,}687\ F_zL$$

$$M_{xz} = \frac{38{,}238}{19{,}922} F_xL + \frac{71{,}820}{19{,}922} F_zL = 1{,}919\ F_xL + 3{,}605\ F_zL$$

	ΔX	ΔY	ΔZ
	−28,868	−67,271	
		−37,894	33,427
	−38,238		−71,820

Pode então reduzir-se o sistema anterior a outro de três equações a três incógnitas.

	F_xL	F_yL	F_zL	Const.
ΔX	175,718 −43,244 −73,379 59,095	80,804 −100,778 −19,974 −19,971	145,778 −137,848 7,930 7,942	$-5{,}348 \cdot 10^4$
ΔY	80,804 −100,772 −19,968 −19,971	476,406 −234,843 −72,453 169,110	−66,379 63,927 −2,452 −2,459	$-0{,}439 \cdot 10^4$
ΔZ	145,778 −137,823 7,955 7,942	−66,379 63,912 −2,467 −2,459	541,264 −56,391 −258,911 225,962	$2{,}073 \cdot 10^4$

Resolvendo as duas primeiras equações:

$$F_xL = \frac{\begin{vmatrix} (-5{,}348 \cdot 10^4 - 7{,}942\ F_zL) & -19{,}971 \\ (-0{,}439 \cdot 10^4 + 2{,}459\ F_zL) & 169{,}110 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 59{,}095 & -19{,}971 \\ -19{,}971 & 169{,}110 \end{vmatrix}} =$$

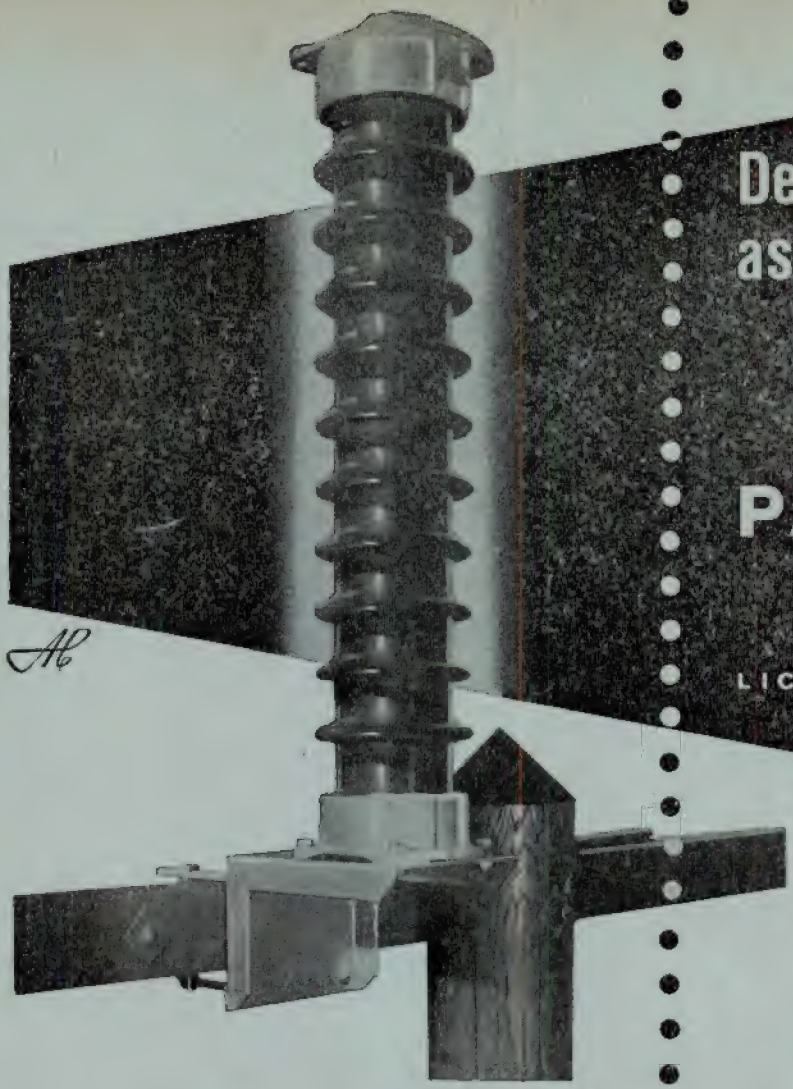
$$= \frac{(-1343{,}072 + 49{,}109)\ F_zL + (-901{,}400 - 8{,}767) \cdot 10^4}{9993{,}555 - 398{,}841}$$

$$F_xL = \frac{1293{,}963}{9594{,}714} F_zL - \frac{913{,}167}{9594{,}714} \cdot 10^4 =$$

$$= 0{,}135\ F_zL - 0{,}952 \cdot 10^3$$

$$F_yL = \frac{\begin{vmatrix} 59{,}095 & (-5{,}348 \cdot 10^4 - 7{,}942\ F_zL) \\ -19{,}971 & (-0{,}439 \cdot 10^4 - 2{,}459\ F_zL) \end{vmatrix}}{9594{,}714} =$$

$$= \frac{(145{,}315 - 158{,}610)\ F_zL + (-25{,}943 - 106{,}805) \cdot 10^4}{9594{,}714}$$



Defenda eficazmente as suas instalações

com a protecção que lhes pode ser dada pelos

PÁRA-RAIOS ACEC

LICENÇA WESTINGHOUSE

ACEC CHARLEROI

PRODUTO DA MAIS RECENTE E APERFEIÇOADA TÉCNICA DE FABRICAÇÃO

Tipo AX

Pára-raios de expulsão, destinado à protecção de transformadores de distribuição.

Tensão nominal: 0,75 kV a 15 kV

Tipo ASV

Pára-raios de resistência variável, para instalações de grande importância.

Tensão nominal a partir de 3 kV

Tipos ALV e ALS

Pára-raios de resistência variável, para instalações de média importância.

ALV — Tensão nominal: 3 a 25 kV
ALS — Tensão nominal de 0,15 a 0,75 kV

Tipo ALVS

Pára-raios de resistência variável, para instalações importantes.

Tensão nominal de 20 a 85 kV

FABRICANTES

ACEC — ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES DE CHARLEROI

CHARLEROI · BÉLGICA

REPRESENTANTES GERAIS

INEL - INDÚSTRIAS ELÉCTRICAS ASSOCIADAS

Sede em Lisboa: Rua Rodrigo da Fonseca, 76, 4.º
Telef. 730161/2/3/4/5 — Teleg. INELA-LISBOA
Delegação no Porto: Rua de Santa Catarina, 470
Telef. 28841, 28842 e 28843 — Teleg. INELAPO-PORTO

HEENAN & FROUDE LTD.

WORCESTER

ENGLAND

VELOCIDADE VARIÁVEL COM

Motor «shunt» de corrente contínua

Unidade electrónica de rectificação

Regulador de velocidade

Representada por:

THE ENGINEERING COMPANY OF PORTUGAL, LDA.

Rua dos Remolares, 12-1.º — LISBOA

$$F_yL = -\frac{13,295}{9594,714} F_zL - \frac{132,748}{9594,714} \cdot 10^4 =$$

$$= -0,139 \,.\, 10^{-2} F_zL - 0,138 \,.\, 10^3$$

Substituindo na terceira equação:

F_zL	Const.
225,962	$20,730 \,.\, 10^3$
1,072	$7,561 \,.\, 10^3$
0,003	$-0,339 \,.\, 10^3$
227,037	$27,952 \,.\, 10^3$

$$F_zL = \frac{279,52}{227,037} \cdot 10^2 = 1,231 \,.\, 10^2 \qquad \text{Kgcm.}$$

$$F_xL = 0,166 \,.\, 10^2 - 9,52 \,.\, 10^2 = -9,354 \,.\, 10^2 \qquad »$$

$$F_yL = -0,0017 \,.\, 10^2 - 1,38 \,.\, 10^2 = -1,382 \,.\, 10^2 \qquad »$$

$$M_{xy} = -1,401 \,.\, 10^3 - 0,482 \,.\, 10^3 = -1,883 \,.\, 10^3 \qquad »$$

$$M_{yz} = -0,264 \,.\, 10^3 - 0,208 \,.\, 10^3 = -0,472 \,.\, 10^3 \qquad »$$

$$M_{xy} = -1,795 \,.\, 10^3 + 0,444 \,.\, 10^3 = -1,351 \,.\, 10^3 \qquad »$$

Substituindo os valores obtidos nas equações:

(1) $-164,367 \,.\, 10^3 - 11,167 \,.\, 10^3 + 17,945 \,.\, 10^3 + 54,358 \,.\, 10^3 + 51,659 \,.\, 10^3 = -5,157 \,.\, 10^4$

(2) $-75,584 \,.\, 10^3 - 65,839 \,.\, 10^3 - 8,171 \,.\, 10^3 + 126,671 \,.\, 10^3 + 17,886 \,.\, 10^3 = -0,504 \,.\, 10^4$

(3) $-136,361 \,.\, 10^3 + 9,174 \,.\, 10^3 + 66,630 \,.\, 10^3 - 15,777 \,.\, 10^3 + 97,029 \,.\, 10^3 = +2,070 \,.\, 10^4$

(4) $27,003 \,.\, 10^3 + 9,297 \,.\, 10^3 - 36,283 \,.\, 10^3 = 0,003 \,.\, 10^3$

(5) $5,237 \,.\, 10^3 + 4,115 \,.\, 10^3 - 9,354 \,.\, 10^3 = -0,002 \,.\, 10^3$

(6) $35,768 \,.\, 10^3 - 8,841 \,.\, 10^3 - 26,915 \,.\, 10 = 0,012 \,.\, 10^3$

Momentos (kg/cm)													F = flexão T = torsão
	XY — plano				YZ — plano				XZ — plano				
Ponto	F_X	F_Y	M_{XY}	M	F_Y	F_Z	M_{YZ}	M	F_X	F_Z	M_{XZ}	M	
	$-9,354$	$-1,382$			$-1,382$	1,231			$-9,354$	1,231			
a	$1,60.10^2$ $-14,97\ 10^2$	$-7,352.10^2$ $10,16.10_2$	$-1,883 \,.\, 10^3$	T $-23,64\ 10^2$	$-2,733\ 10^2$ $3,78.10^2$	$-1,60.10^2$ $-1,97.10^2$	$-0,472 \,.\, 10^3$	F $-2,91.10^2$	$-2,734.10^2$ $25,57.10^2$	$-7,352.10^2$ $-9,05.10^2$	$-1,351 \,.\, 10^3$	F $3,01.10^2$	
m				T $-18,83.10^2$				F $-4,72.10^2$				F $-13,61.10^2$	

$$\sigma_f = \frac{MD}{2I} = \frac{7,6}{2 \times 58,9} \cdot M = 6,452 \,.\, 10^{-2} \,.\, M$$

Ponto a

Plano YZ $\quad \sigma_{f1} = 6,452 \,.\, 10^{-2} \,(-2,91 \,.\, 10^2) = -18,775 \quad kg/cm^2$

Plano XZ $\quad \sigma_{f2} = 6,452 \,.\, 10^{-2} \,(3,01 \,.\, 10^2) = 19,420 \quad »$

$$\sigma_f^2 = \sigma_{f_1}^2 + \sigma_{f_2}^2 = 352,501 + 377,136 = 729,637$$

Plano XY $\quad \sigma_T = \frac{MD}{4I} = 3,226 \,.\, 10^{-2} \,(-23,64 \,.\, 10^2) = -76,263 \quad kg/cm^2$

$$SE = \sqrt{\sigma_f^2 + 4\,\sigma_T^2} = \sqrt{729,637 + 4 \times 5816,045} = \sqrt{23993,817}$$

$$\boxed{SE = 154,89 \ kg/cm^2}$$

Ponto m

Plano YZ $\sigma_{f_1} = 6{,}452 \,.\, 10^{-2} \,(-4{,}72 \,.\, 10^2) = -\,30{,}453$ Kg/cm²

Plano XZ $\sigma_{f_2} = 6{,}452 \,.\, 10^{-2} \,(-13{,}51 \,.\, 10^2) = -\,87{,}166$ »

$$\sigma_{f^2} = \sigma_{f_1}^2 + \sigma_{f_2}^2 = 927{,}385 + 7597{,}912 = 8525{,}297$$

Plano XY $\sigma_T = 3{,}226 \,.\, 10^{-2} \,(-18{,}83 \,.\, 10^2) = -\,60{,}746$ Kg/cm²

$$SE = \sqrt{\sigma_{f^2} + 4\,\sigma_T^2} = \sqrt{8525{,}297 + 4 \times 3690{,}076}\ \sqrt{23285{,}601}$$

$$\boxed{SE = 152{,}58 \text{ Kg/cm}^2}$$

A fadiga admissível é:

$$SA = 1{,}25 \,.\, S_c + 0{,}25 \,.\, S_n \text{ com valores de } S_c \text{ e } S_n \text{ da tabela 1}$$

$$SA = 1{,}25 \,.\, \frac{12000}{14{,}22} + 0{,}25 \,.\, \frac{11500}{14{,}22} = \underline{1257 \text{ Kg/cm}^2}$$

Verifica-se portanto que os pontos *a* e *m* ficarão sujeitos a fadigas muito aquém da máxima admissível. Num cálculo que antecedeu o presente esta mesma conduta considerou-se fixa no ponto A (figura). Como resultado dessa suposição as fadigas nos pontos *a* e *m* eram 3.300 e 1.500 Kg/cm² respectivamente e assim bastante superiores à admissível.

É portanto necessário que haja o máximo cuidado em não apoiar a conduta num ponto como A, pois caso contrário as tensões térmicas acabariam por levá-la à rotura.

Uma das curiosidades do método pode ser justamente prevêr os troços das condutas que devem ficar livres e fazer respeitar isso na execução. Poderia ser por exemplo o caso de uma instalação naval em que a conduta apoiando-se na toma de vapor da caldeira segue para a casa das máquinas atravessando a parede de um compartimento para outro. Tornava-se deste modo necessário manter livre a conduta à passagem por aquela parede. Caso idêntico se poderia dar numa instalação terrestre.

ASEA

Transformador trifásico de

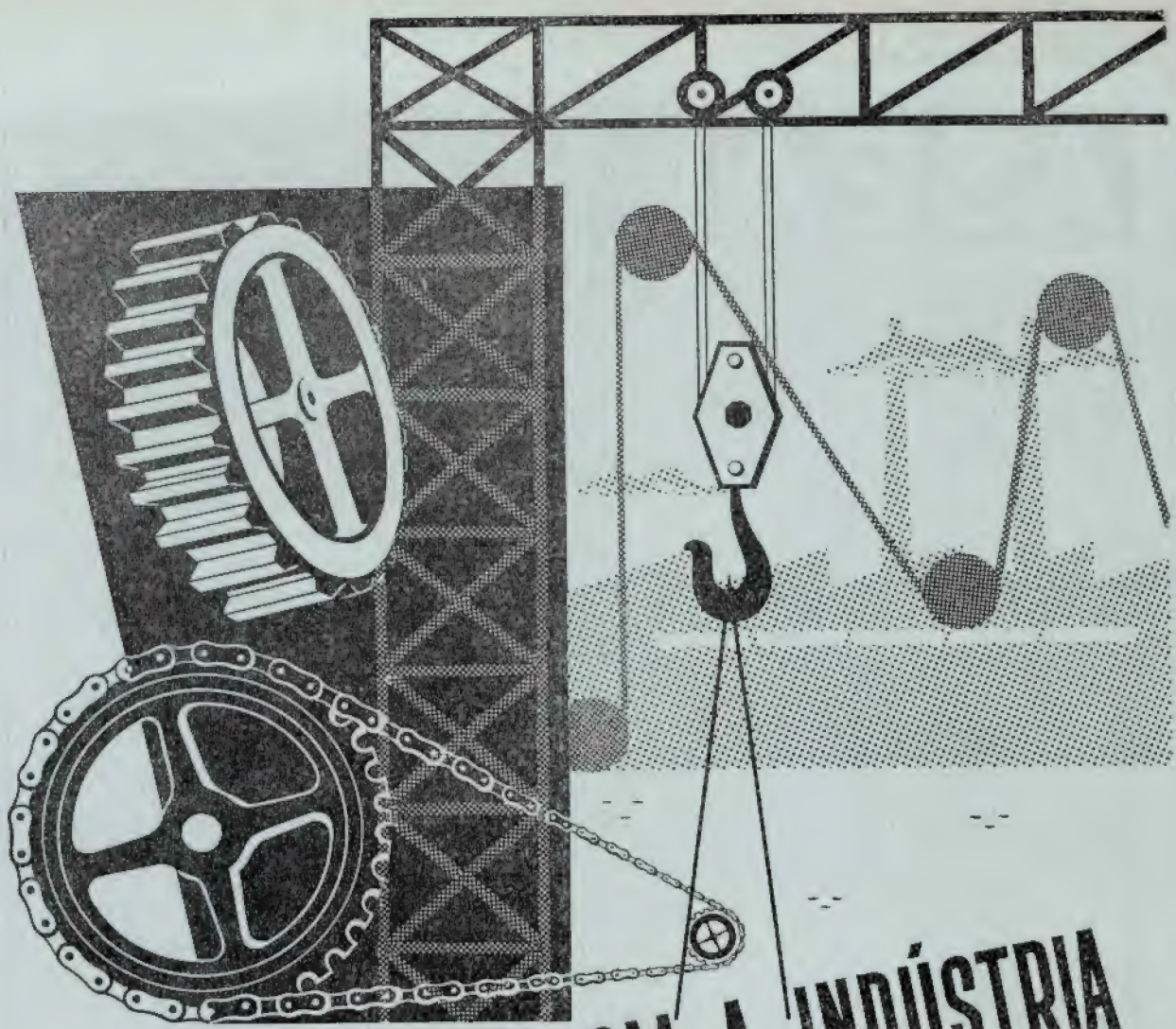
100.000 KVA

13,5/400 KV

REPRESENTANTES

JAYME DA COSTA, L.DA

LISBOA - PORTO



COLABORANDO COM A INDÚSTRIA

NA LUBRIFICAÇÃO DE TODOS
OS SISTEMAS DE ENGRENAGENS

LUBRIFICANTES

Sonap

57-154

C. D. U. 691.545

POZOLANAS, BETÕES COM POZOLANAS E CIMENTOS POZOLÂNICOS

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) A. DE SOUSA COUTINHO
Investigador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

(Continuação)

PARTE III

A ACÇÃO DA POZOLANA NA RESISTÊNCIA A AGRESSIVIDADE DE NATUREZA QUÍMICA

CAPÍTULO 10

MECANISMO DO ATAQUE DO CIMENTO PORTLAND PELOS AGENTES AGRESSIVOS EXTERIORES E MEIOS DE O EVITAR

78. Reacções de hidratação dos componentes do cimento portland. — A explicação do mecanismo do ataque do cimento portland pelos agentes agressivos é consideràvelmente facilitada pela análise das reacções da hidratação dos seus componentes. Por este facto vamos começar este capítulo pelo estudo das reacções do cimento com a água.

Como já foi dito, o cimento portland é constituido por um certo número de compostos principais, anidros: os silicatos tricálcico e bicálcico, o aluminato tricálcico e o alumino-ferrito tetracálcico. Estes sais anidros em contacto com a água são por ela atacados e decompostos, para formarem compostos hidratados que são pràticamente insolúveis. Assim, o cimento posto em contacto com a água em quantidade insuficiente para dissolver e reagir completamente com os seus componentes dá origem à formação de soluções sobressaturadas de sais hidratados que, sendo muito menos solúveis do que o composto inicial, precipitam, libertando água para o prosseguimento da reacção.

Esta precipitação dos sais hidratados constitui a prêsa do cimento, e a dissolução de novas quantidades dos sais anidros restantes constitui o fenómeno do endurecimento progressivo do ligante, que resulta da interpenetração de finas agulhas cristalinas, forma que afectam geralmente os cristais que precipitam duma solução saturada. A existência destes cristais aciculares foi confirmada recentemente pela observação da hidratação do cimento ao microscópio electrónico, e o seu carácter cristalino, que foi predito por H. Le Châtelier, (6) foi observado há uns 5 anos por Bernal e seus colaboradores por meio dos raios X, (33) como já referimos no § 10.

Como os componentes anidros do cimento não podem existir em equilíbrio com soluções aquosas, o resultado final da acção da água tem de ser a hidratação completa.

Na verdade os componentes do cimento não existem no estado livre, mas sim associados em cristais, que constituem as partículas de cimento, de modo que os raciocínios e equações que vamos descrever em seguida são válidos apenas para os compostos que se apresentam na periferia das partículas, sendo a progressão da hidratação pelo interior destas, até ao seu desaparecimento total, uma acção extremamente lenta, se não mesmo, na maior parte dos casos, de impossível realização.

Como já vimos (§ 10), o silicato tricálcico quando reage com a água liberta $(OH)_2Ca$ e transforma-se num silicato menos rico de cálcio, o silicato bicálcico hidratado.

Ora este silicato bicálcico sòmente se mantem quando em contacto com uma solução de concentração entre a saturada de hidróxido de cálcio, a qual, a 20° C contém 1585 mg l^{-1} e um pH de 12,34, e a de 1450 mg l^{-1} que tem um pH de 12,20 à mesma temperatura.

Como vimos, também o silicato bicálcico do cimento ao reagir com a água liberta $(OH)_2Ca$ e bisilicato tricálcico hidratado, que sòmente é estável para valores do pH da solução de contacto entre 12,20 e 11,00, a que correspondem as concentrações de 1450 e 130 miligramas de hidróxido de cálcio por litro de água, a 20° C.

O aluminato tricálcico tem uma reacção de hidratação muito mais importante pois, encontrando-se numa solução saturada de hidróxido

de cálcio, fixa este composto e transforma-se num aluminato tetracálcico hidratado. Esta reacção dá-se em soluções de concentração de hidróxido de cálcio variável entre 1585 e 1430 mg l^{-1}, ou seja em soluções de pH entre 12,34 e 12,18.

O alumino-ferrito tetracálcico reagindo com a água liberta aluminato tricálcico e ferrito monocálcico. O ferrito monocálcico reagindo com o hidróxido de cálcio libertado pelas reacções anteriores transforma-se em ferrito tricálcico que forma soluções sólidas com o aluminato tricálcico hidratado. São estas soluções sólidas que impedem a acção do ião $SO_4^{=}$, como veremos, sobre este aluminato tricálcico e é por esta razão que os cimentos resistentes à acção dos sulfatos devem conter uma proporção razoável de alumino-ferrito (4).

No quadro seguinte, quadro XLVII, estão resumidas e sintetizadas estas reacções de hidratação.

O que caracteriza estas reacções é que elas se dão no seio de uma solução saturada de hidróxido de cálcio. Isto é, a água que está no interior do betão confeccionado com cimento portland normal encontra-se completamente saturada de hidróxido de cálcio, mantendo um pH superior a 12. É esta a característica essencial do cimento portland artificial, a qual deriva da existência do silicato tricálcico, e que mais nenhum outro cimento possui, a não ser as cais hidráulicas. A existência do silicato tricálcico, se é certo que por um lado confere ao cimento portland artificial as altas resistências mecânicas que tornaram possíveis as grandes obras de betão armado que revolucionaram a construção do século XX, por outro lado confere ao cimento propriedades que o tornam inadequado, como veremos, para outras obras, como as sujeitas às acções agressivas, em que, na grande maioria dos casos, se não exigem tensões de rotura elevadas.

Com efeito, é devido à existência de soluções saturadas de hidróxido de cálcio no interior da pasta de cimento que é possível a formação do sulfoaluminato de cálcio expansivo, a partir do aluminato tetracálcico hidratado, o qual, como veremos, é o responsável pela alteração do cimento portland em presença do ião $SO_4^{=}$, e é a necessidade da existência duma tal solução saturada que condiciona a estabilidade dos silicatos hidratados. À medida que o pH da solução de contacto vai baixando, os silicatos vão-se decompondo sucessivamente até à formação da sílica.

79. Reacções da corrosão do cimento portland pelos agentes agressivos exteriores. — A acção dos agentes agressivos exteriores de natureza química sobre o cimento portland artificial pode sintetizar-se nas duas acções fundamentais seguintes:

a) acção do agente agressivo sobre o hidróxido de cálcio da solução que está em contacto com os componentes hidratados do cimento;

QUADRO XLVII

Reacções de hidratação dos componentes principais do cimento portland

Reacções	Solução de contacto 20° C	
	Concentração de $(OH)_2$ Ca mg l^{-1}	pH
$SiO_2 . 3 OCa + n OH_2 \rightarrow (OH)_2 Ca + SiO_2 . 2 OCa . n OH_2$	1585 a 1450	12,34 a 12,20
$2 (SiO_2 . 2 OCa) + n OH_2 \rightarrow (OH)_2 Ca + 2 SiO_2 . 3 OCa . m OH_2$	1450 a 130	12,20 a 11,00
$O_3 Al_2 . 3 OCa + (OH)_2 Ca + 11 OH_2 \rightarrow O_3 Al_2 . 4 OCa . 13 OH_2$	1585 a 1430	12,34 a 12,18
$O_3 Al_2 . O_3 Fe_2 . 4 OCa + 7 OH_2 \rightarrow O_3 Al_2 . 3 OCa . 6 OH_2 + O_3 Fe_2 . OCa . OH_2$		
$O_3 Fe_2 . OCa . OH_2 + (OH)_2 Ca \rightarrow n OH_2 + O_3 Fe_2 . 3 OCa . m OH_2$ que forma soluções sólidas com o composto $O_3 Al_2 . 3 OCa . 6 OH_2$ da reacção anterior.		

b) acção do ião $SO_4^{=}$ sobre o aluminato tetracálcico hidratado em presença duma solução saturada de hidróxido de cálcio.

79.1. Reacção do agente agressivo com o hidróxido de cálcio do cimento hidratado. — Esta reacção é a mais frequente e dá origem não só a acções agressivas mas também a acções de protecção do cimento portland e de melhoramento das suas propriedades. Qualquer composto que tenha acção sobre o hidróxido de cálcio reage portanto com o cimento contribuindo para o desaparecimento deste componente. Dentro desta classe há dois tipos de reacções: num dos tipos, o produto da reacção do hidróxido de cálcio com o composto reagente é um produto sólido, com características de ligante, estável em presença da água ou de soluções menos concentradas de hidróxido de cálcio, dando lugar à formação de cristais aciculares que precipitam nos vazios e poros do cimento endurecido e contribuindo portanto para a resistência.

No outro tipo, de que nos ocuparemos a seguir, nas alíneas *a*), *b*) e *c*), os produtos da reacção não têm, nem propriedades ligantes, nem precipitam nos poros do cimento, tendendo a sair deles e concorrendo para o aumento de porosidade do betão.

No primeiro tipo de reacção, que dá origem às acções de protecção do cimento, conta-se a acção da pozolana e a acção de muitos produtos químicos, como os silicatos alcalinos, os fluosilicatos alcalino-terrosos, de magnésio e de zinco, o cloreto e o fluoreto de zinco, o sulfato de alumínio, os aluminatos alcalinos, etc., que são muito utilizados na indústria dos hidrófugos para betão. (80)

As reacções da pozolana com o hidróxido de cálcio foram já discutidas mais atrás (cap. 3).

Os silicatos de sódio e de potássio em contacto com o hidróxido de cálcio dão lugar à formação de sílica, que tapa os poros do cimento, e de silicatos de cálcio e de alumínio. O álcali que é libertado nesta reacção acelera a presa do cimento.

Os fluosilicatos alcalino-terrosos ao reagirem com o hidróxido de cálcio dão origem à formação de fluoretos de cálcio e do metal alcalino-terroso, e de sílica, precipitados insolúveis e muito resistentes às acções químicas, os quais enchem os poros das argamassas e betões, aumentando a sua impermeabilidade.

Por exemplo, a acção do fluosilicato de magnésio pode ser descrita assim:

$$F_6\,Si\,Mg + 2\,(OH)_2\,Ca \rightarrow F_2\,Mg + 2\,F_2\,Ca + SiO_2 + 2\,OH_2$$

e a do fluosilicato de zinco, é,

$$F_6\,Si\,Zn + 3\,(OH)_2\,Ca \rightarrow (OH)_2\,Zn + 3\,F_2\,Ca + SiO_2.$$

O sulfato de alumínio reage com o hidróxido de cálcio dando origem à formação do hidróxido de alumínio coloidal e do sulfato de cálcio. Os cloretos e fluoretos de zinco dão origem à precipitação de hidróxido de zinco no interior dos poros do cimento e à formação do cloreto e do fluoreto de cálcio, produtos de pequeníssima solubilidade, sobretudo o último.

Como dissemos, estes produtos são muito utilizados na indústria dos hidrófugos; a sua mistura na água de amassadura é pouco recomendável pois os produtos da reacção muitas vezes diminuem a resistência, como o hidróxido de zinco, ou alteram as condições de presa, como os álcalis.

Os silicatos e fluosilicatos são muito usados como pintura das argamassas e betões já endurecidos, fixando então admiràvelmente o hidróxido de cálcio, e dando origem à formação duma camada altamente protectora, que os recobre.

As acções de carácter agressivo são as que vão ser descritas a seguir.

a) *Acção de compostos orgânicos.* — Os compostos que, em presença do cimento hidratado reagem com o hidróxido de cálcio, podem dar origem a compostos sem propriedades ligantes de qualquer espécie, como os ácidos, quer minerais quer orgânicos, os ésteres e os álcoois. Estes compostos orgânicos existem em muitos produtos comerciais e industriais (leite, manteiga, vinagre, azeites, gorduras animais e vegetais, etc.).

A sua acção pode ser explicada, em última análise, assim:

No caso dum ácido gordo, este, reagindo com o hidróxido de cálcio dá origem ao respectivo sal cálcico, provocando o desaparecimento daquele e alterando por consequência as condições de equilíbrio dos compostos hidratados do cimento.

Se se trata dum éstere, o hidróxido de cálcio

saponifica-o, formando um sal cálcico do ácido gordo correspondente e libertando o álcool, o qual, por sua vez também reage com o $(OH)_2$ Ca.

Os produtos formados nestas reacções não têm consistência e são fàcilmente arrastados e solúveis. Estas reacções são progressivas, provocando o abaixamento do pH da solução de equilíbrio com os silicatos e aluminatos hidratados, o que conduz à sua decomposição noutros sucessivamente menos básicos, como veremos a seguir (quadro XLVIII). Daqui resulta um abaixamento progressivo da resistência mecânica dos ligantes até que estes se transformam numa massa de sílica e de hidróxido de alumínio, sem quaisquer propriedades aglomerantes.

b) *Acção das águas com anidrido carbónico em dissolução.* — De muito maior importância é a acção da água com anidrido carbónico agressivo. Como se sabe, o anidrido carbónico aparece nas águas sob as quatro formas distintas: [81]

1 — Anidrido carbónico combinado; é o anidrido carbónico que se encontra combinado sob a forma de carbonatos.

2 — Anidrido carbónico semicombinado; é a metade do anidrido carbónico contido nos bicarbonatos.

3 — Anidrido carbónico livre; é o anidrido carbónico simplesmente dissolvido, isto é, não ligado sob a forma de carbonato ou de bicarbonato aos catiões dos metais em solução. Deste anidrido carbónico livre, uma parte, por razões químicas, é necessária para manter em solução o bicarbonato, que doutro modo se decomporia segundo a reacção

$$(CO_3H)_2Ca \rightleftarrows CO_3Ca + CO_3H_2,$$

e portanto não pode provocar qualquer acção dissolvente; é o *anidrido carbónico equilibrante.* A parte restante do anidrido carbónico livre, isto é, aquela parte que não é necessária para evitar esta reacção é que pode provocar uma acção dissolvente, por exemplo, sobre o carbonato de cálcio sólido existente no corpo em contacto com a água. Mas nem toda esta quantidade se pode transformar em bicarbonato pois uma parte servirá para manter em solução este bicarbonato acabado de formar e evitar portanto a reacção anterior. O anidrido carbónico que serve exclusivamente para a formação deste bicarbonato, e que exerce uma acção realmente dissolvente, é o *anidrido carbónico agressivo.*

Quando uma água que contém anidrido carbónico agressivo está em contacto com o betão, aquele começa por dissolver a camada de carbonato de cálcio existente à superfície do betão e proveniente da combinação do anidrido carbónico da atmosfera com o hiróxido de cálcio resultante da hidrólise dos componentes do cimento.

Se o anidrido carbónico agressivo existe sempre em excesso, isto é, se a água se renova, esta acção vai-se propagando para o interior do betão, provocando o desaparecimento do hidróxido de cálcio.

Se a água não contém anidrido carbónico agressivo, então ao entrar em contacto com a superfície do betão combina-se com o hidróxido de cálcio e o carbonato de cálcio precipita na superfície do betão. Desta precipitação resulta a formação duma camada protectora, impermeável aos sais dissolvidos na água, e o betão manter-se-á indefinidamente em bom estado em contacto com a água. Neste caso, mesmo que a circulação da água se dê através de fendas, ela não é perigosa para a conservação da obra pois a formação do carbonato de cálcio à superfície dos bordos da fenda é inevitável, em virtude das características da água provocarem a sua precipitação e a sua estabilidade.

A quantidade de anidrido carbónico agressivo existente numa água dá pois uma medida da sua agressividade. A sua determinação experimental pode fazer-se, por exemplo, colocando a água em contacto com CO_3Ca, e medindo a quantidade deste sal que é dissolvida pela água ou então pode fazer-se por métodos puramente analíticos, determinando o seu pH ou o anidrido carbónico livre, e o anidrido carbónico semicombinado.

A partir das experiências de Werner e de Giertz-Hedstrom [82] sobre a agressividade das águas puras para o betão, Tavasci [81] traçou uns diagramas nos quais se relaciona o pH das águas, ou o seu anidrido carbónico livre, com o anidrido carbónico semicombinado (fig. 64). Nestes diagramas, ao longo das curvas a traço contínuo, o anidrido carbónico agressivo é constante. As curvas a tracejado dividem a área do diagrama em diversas regiões de intensidade de agressividade variável para o betão de cimento portland, segundo Werner e Giertz-Hedstrom: águas não agressivas, *n. agr.*, (sem anidrido car-

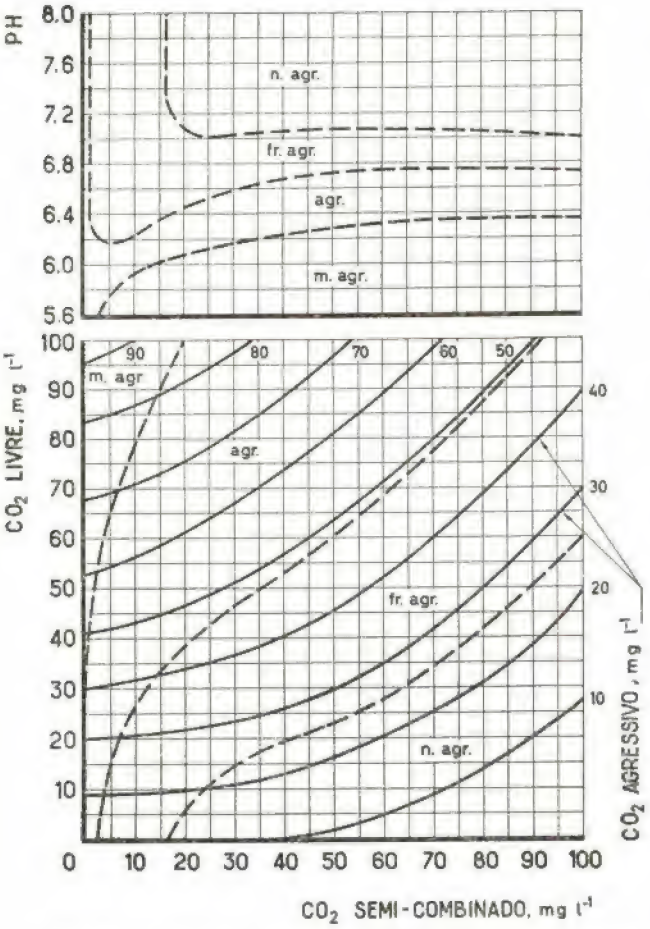


Fig. 64— Diagramas que relacionam o anidrido carbónico semicombinado com o livre, ou com o pH da água. As linhas a tracejado dividem este campo em zonas dentro das quais caiem os pontos representativos das águas de diferentes intensidades agressivas para o betão de cimento portland:

n.agr.— não agressivas; fr.agr. — fracamente agressivas; agr. — agressivas; m agr. — fortemente agressivas. (81) (82)

bónico agressivo ou com uma quantidade despresível), águas fracamente agressivas, *fr. agr.*, águas agressivas, *agr.*, e águas fortemente agressivas, *m. agr.*

A determinação experimental destes parâmetros que permitem classificar a água é muito simples e faz parte da rotina de qualquer laboratório de química. O anidrido carbónico semicombinado determina-se pelo conhecimento do volume duma solução, de concentração conhecida, dum ácido forte (ácido sulfúrico) que é necessário juntar a um volume determinado da água a analisar até levar o seu pH ao valor correspondente à coloração rósea com a heliantina.

O anidrido carbónico livre determina-se a partir da medição do volume dum soluto muito diluído de soda cáustica, de concentração conhecida (por exemplo N/100), que é necessário adicionar a um dado volume de água para lhe elevar o pH até ao valor de 8,4, que é o valor do pH da solução de bicarbonato de sódio. Isto é, quando o pH da água é de 8,4, isso significa que todo o anidrido carbónico livre desapareceu e está transformado em bicarbonato alcalino.

O pH determina-se por qualquer dos conhecidos métodos, potenciométrico, por meio de indicadores, etc.

Deve frizar-se que a classificação da intensidade da agressividade da água para o betão de cimento portland, indicada na fig. 64, depende muito da natureza do betão; se o betão é altamente permeável, com poros de grande abertura, a obturação por precipitação do carbonato de cálcio nos seus poros será difícil, e, se uma água é pouco ou não agressiva para um dado betão, pode não o ser para outro. A posição das linhas tracejadas pode pois sofrer certos deslocamentos que dependem da natureza do betão, isto é, da sua capacidade para a formação da camada protectora.

Vejamos agora qual o mecanismo da corrosão do cimento portland pelas águas agressivas, com anidrido carbónico agressivo em dissolução.

Em virtude do que ficou dito no § 10 sobre os compostos do sistema $SiO_2 - OCa - OH_2$, fàcilmente se compreende agora que os poros da pasta de cimento hidratado, que são percorridos por uma água que não é incrustante, aumentarão progressivamente de volume em virtude do arrastamento do hidróxido de cálcio, e provocarão uma diminuição do pH da solução de contacto com os componentes hidratados do cimento portland. De acordo com o que ficou dito, os silicatos e aluminatos em contacto com soluções de pH progressivamente decrescentes vão-se decompondo, conforme está indicado no quadro XLVIII, até se transformarem, finalmente, num precipitado de sílica-gel, sem quaisquer propriedades ligantes.

c) *Acção do ião Mg^{++}.* — Dentre os diferentes iões que reagem com o $(OH)_2Ca$ merece ainda uma menção especial o ião Mg^{++}, que tendo as mesmas propriedades químicas do ião Ca^{++}, pois pertencem ambos ao mesmo grupo, fàcilmente reage com o $(OH)_2Ca$ para dar lugar ao $(OH)_2Mg$,

QUADRO XLVI

Acção das águas puras sobre os componentes principais do cimento portland

	Reacções	Solução de contacto 20° C	
		Concentração de $(OH)_2Ca$ mg l^{-1}	pH
Decomposição progressiva dos silicatos em virtude do abaixamento do pH da solução de contacto, à medida que o hidróxido de cálcio vai sendo arrastado. Precipitação final da sílica-gel.	$2(SiO_2.2OCa.4OH_2) + n\,OH_2 \rightarrow 2SiO_2.3\,OCa.n\,OH_2 + (OH)_2Ca$	1450 a 130	12,2 a 11,0
	$2SiO_2.3OCa.mOH_2 + OH_2 \rightarrow 2(SiO_2.OCa.m\,OH_2) + (OH)_2Ca$	130 a 65	11,0 a 10,5
	$SiO_2.OCa.mOH_2 + OH_2 \rightarrow SiO_2 + (OH)_2Ca + m\,OH_2$ ↓	< 65	< 10,5
Decomposição progressiva dos aluminatos em virtude do abaixamento do pH da solução de contacto à medida que o hidróxido de cálcio vai sendo arrastado. Precipitação final da alumina-gel.	$O_3Al_2.4OCa.13\,OH_2 + OH_2 \rightarrow O_3Al_2.3\,OCa.6\,OH_2 + (OH)_2Ca + 7\,OH_2$	1430 a 435	12,18 a 11,92
	$O_3Al_2.3OCa.6\,OH_2 + 3\,OH_2 \rightarrow O_3Al_2.2\,OCa.8\,OH_2 + (OH)_2Ca$	435 a 210	11,92 a 11,59
	$O_3Al_2.2OCa.8\,OH_2 + n\,OH_2 \rightarrow O_3Al_2.OCa.n\,OH_2 + (OH)_2Ca$	210 a 0	11,59 a 7
	$O_3Al_2.OCa.n\,OH_2 + m\,OH_2 \rightarrow 2(OH)_3Al + (OH)_2Ca + p\,OH_2$ ↓	0	7

o qual é muito mais insolúvel do que o primeiro. Com efeito, a solubilidade do $(OH)_2Mg$ é apenas de 10 mg l^{-1} e dá origem a uma solução com um pH igual a 10,5.

A presença deste hidróxido é pois uma causa que provoca o abaixamento do pH da solução de contacto, o que dá lugar à libertação do $(OH)_2Ca$ dos silicatos, segundo o esquema que está indicado no quadro XLVIII que acabámos de ver. Esta nova libertação de $(OH)_2Ca$, por sua vez, vai dar origem a novas quantidades de $(OH)_2Mg$, e assim sucessivamente até ao desaparecimento total do $(OH)_2Ca$.

Os silicatos e aluminatos de magnésio não têm propriedades ligantes de qualquer espécie, como já foi dito no § 18, pelo que a acção do ião Mg^{++} contribui, também por este facto, para a desagregação do ligante.

79.2. Reacção do ião $SO_4^{=}$ com os aluminatos do cimento hidratado. — Esta acção, embora possa ser também estudada sob o aspecto anterior, pois este ião tem uma forte atracção para o ião Ca^{++} provocando o seu desaparecimento da pasta de cimento segundo o mecanismo anterior, tem contudo uma acção *sui generis* sobre os aluminatos saturados de cálcio, que merece ser vista com mais pormenor, completando-se agora o que já foi dito no § 15.

Sempre que o ião $SO_4^{=}$ chega ao contacto com os aluminatos de cálcio forma-se o sulfoaluminato de cálcio. A formação do sulfoaluminato de cálcio pode fazer-se por dois modos distintos: a partir da reacção do sulfato dissolvido com os aluminatos também dissolvidos na água, ou a partir da reacção do sulfato dissolvido com os aluminatos no estado sólido.

O primeiro tipo de reacção dá-se com os aluminatos pouco ricos de cálcio, como o são os dos cimentos naturais ou romanos, dos cimentos aluminosos, dos cimentos pozolânicos (§ 11), etc., que, por hidratação dão apenas o aluminato bicálcico [83], muito mais solúvel que o tetracálcico que se forma na hidratação do portland e que é estável em concentrações mais baixas de $(OH)_2Ca$, com pH da ordem de 11 (§ 11 e quadro XLVIII).

A reacção do ião $SO_4^{=}$, por exemplo, sob a forma de sulfato de cálcio, com o aluminato bicálcico é então:

$$3\,(O_3Al_2 \,.\, 2\,OCa \,.\, 7\,OH_2) + 2\,(SO_4Ca \,.\, 2\,OH_2) + p\,OH_2 \rightarrow 2\,(SO_4Ca \,.\, O_3Al_2 \,.\, 3\,OCa \,.\, 12O\,H_2) + m\,OH_2 + O_3Al_2 \,.\, n\,OH_2.$$

Quando o ião $SO_4^{=}$ reage pois com estes aluminatos fàcilmente solúveis obtém-se pois um sulfoaluminato que precipita nos poros da pasta, contribuindo para a sua colmatação e para o aumento da compacidade do ligante endurecido.

É este o mecanismo do endurecimento dos cimentos supersulfatados. É também esta a razão pela qual os cimentos naturais, aluminosos, pozolânicos, supersulfatados, de escórias, etc., são altamente resistentes aos sulfatos.

Mas quando o ião $SO_4^{=}$ se encontra em presença do aluminato tetracálcico hidratado, em contacto com uma solução saturada de $(OH)_2Ca$, de pH da ordem de 12, em virtude da insolubilidade quase total deste aluminato, a *formação do sulfoaluminato dá-se sem que o aluminato passe ao estado líquido*, isto é, o produto da reacção é *um sólido formado com um dos reagentes sempre no estado sólido.* Está-se então em presença duma reacção expansiva, isto é, duma reacção em que o volume aparente do produto obtido é maior do que a soma dos volumes dos componentes.

A reacção pode então escrever-se da seguinte maneira:

$$O_3Al_2 \,.\, 4\,OCa \,.\, 13\,OH_2 + 3\,(SO_4Ca \,.\, 2\,OH_2) + 14\,OH_2 \rightarrow 3\,SO_4Ca \,.\, O_3Al_2 \,.\, 3\,OCa \,.\, 32OH_2 + (OH)_2Ca.$$

A expansão provocada pela formação deste composto dá origem a tensões tão elevadas que provocam a desagregação da argamassa ou betão onde ele se forma.

A acção do ião $SO_4^{=}$ sobre os aluminatos e a formação do sulfoaluminato de cálcio foi descoberta por Candlot. [6] A ideia deste mecanismo da reacção expansiva do ião $SO_4^{=}$ com os aluminatos ricos de cálcio é devida a H. Le Châtelier [84] e foi depois confirmada pelos trabalhos de Lafuma. [85]

A ideia da formação dum composto expansivo a partir duma reacção em que um dos reagentes está sempre no estado sólido é muito interessante e encontra a sua justificação em muitas reacções que são por nós sobejamente conhecidas. Por exemplo, a hidratação dos corpos anidros pelo vapor de água, sob a forma da humidade que se encontra na atmosfera, é uma reacção

expansiva: o sulfato de sódio anidro, o próprio cimento, etc., se são deixados ao ar livre dentro dum saco de papel, ao fim de algum tempo fendem este devido à expansão provocada pela sua hidratação que foi realizada sem se terem prèviamente dissolvido.

Este fenómeno é mais raro na hidratação pela água no estado líquido, mas a extinção da cal viva fornece um exemplo típico. Com efeito, é bem conhecido que a hidratação do óxido de cálcio para formar o hidróxido se faz com um aumento considerável de volume aparente, e uma tal reacção faz-se, como se sabe, sempre com o óxido de cálcio no estado sólido: não há dissolução prévia. Le Châtelier calculou que a hidratação de 1 kg de OCa suposta realizável por via reversível pode desenvolver 200 000 kgm.

Recentemente Turriziani [31] modificou esta teoria admitindo outro mecanismo, um pouco diferente, e baseado no que ficou exposto no § 15.

Com efeito, no cimento portland endurecido, os aluminatos e o gesso que todo o cimento possui para regularizar a sua presa, formam uma solução sólida entre o sulfoaluminato de cálcio pobre de sulfato ($SO_4Ca . O_3Al_2 . 3OCa . 12OH_2$) e o aluminato tetracálcico hidratado ($O_3Al_2 . 4OCa . 13OH_2$) (§ 15).

Por acção do ião $SO_4^{=}$ esta solução sólida converte-se no sulfoaluminato expansivo, de Candlot ($3SO_4Ca . O_3Al_2 . 3OCa . 32OH_2$).

Para que este sulfoaluminato se forme é necessária uma *concentração tanto maior de sulfatos quanto menor é a concentração de* $(OH)_2Ca$ da solução de contacto. Logo, a formação do sulfoaluminato expansivo é tanto mais possível quanto mais próxima da saturação estiver a solução de $(OH)_2Ca$, o que ocorre nos cimentos portland. A este facto acresce ainda que a solubilidade deste sulfoaluminato é tanto maior quanto menor é a concentração de $(OH)_2Ca$ da solução (§ 15) e portanto, nos cimentos de baixo pH, é muito mais fácil o seu arrastamento ou a sua dissolução na solução, o que não provoca expansão.

80. A difusão dos iões agressivos nas argamassas. — A consideração do que ficou descrito no parágrafo anterior leva-nos à conclusão que qualquer líquido que não tenha um pH de 12, ou que contenha o ião $SO_4^{=}$, leva o cimento portland à desagregação total. E, de facto, assim seria se não houvessem outras acções que contrariassem a progressão daqueles fenómenos. A principal acção que contraria uma tal progressão é a tendência que o betão apresenta para a formação de uma camada superficial que o protege, uma tendência que será discutida com mais detalhe no parágrafo seguinte.

A ideia da formação duma tal camada protectora, impermeável, foi desenvolvida por H. Le Châtelier [84] tendo sido reconhecida pela primeira vez, por Vicat. [84]

Com efeito, as observações notáveis de H. Le Châtelier em 1904 [86] provaram que na primeira fase das acções agressivas, as reacções estudadas no parágrafo anterior apenas se dão numa camada de betão com alguns décimos de milímetro de espessura. O método por ele usado consistiu na utilização de indicadores, que, em contacto com os sais em dissolução na água em que as argamassas estavam mergulhadas, assinalavam a sua presença num corte recente feito sobre a peça de argamassa.

Uma brilhante confirmação destas observações foi feita recentemente com a aplicação dos isótopos radioactivos, no Canadá, por Spinks, Thorvaldson, Baldwin e Birss. [87]

Na utilização desta técnica usa-se uma solução do sal cuja acção se quere estudar, com um dos componentes radioactivados, na qual se conserva o espécime de argamassa ou betão de cimento. Ao fim de determinados intervalos de tempo mede-se a intensidade da radiação emitida pelo espécime ao qual se retiram camadas superficiais de diferentes espessuras. O conhecimento do tempo, intensidade da radiação e espessura desgastada, permite fazer o cálculo do coeficiente de difusão do ião marcado, no espécime.

A aplicação desta técnica permite determinar a influência de diversos factores, como a conservação prévia da argamassa, as dosagens de cimento e de água, a idade, etc., no valor do coeficiente de difusão, mostrando claramente, como já dissemos, que estas reacções se dão apenas numa camada superficial de muito poucos milímetros de espessura.

Assim, o coeficiente de difusão do ião $SO_4^{=}$ é mínimo para uma argamassa conservada prèviamente em água de cal; se a argamassa é conservada prèviamente fóra do contacto com a atmosfera (envolvida em parafina) o coeficiente aumenta ligeiramente, e atinge um valor máximo quando a conservação é feita prèviamente em água des-

tilada que é mudada várias vezes. Este facto é devido à formação, no primeiro caso, duma camada de carbonato de cálcio à superfície da peça, que dificulta a entrada dos iões $SO_4^{=}$.

Um resultado semelhante já foi observado por Michaelis, (88) o qual conseguiu, ou retardar a decomposição das argamassas fazendo-as prèviamente absorver anidrido carbónico, ou acelerar a sua decomposição impedindo o seu contacto prévio com o anidrido carbónico.

O tipo de cimento não tem influência sobre o valor do coeficiente de difusão; com efeito, o valor do coeficiente é o mesmo na argamassa de cimento do tipo I (cimento portland ordinário, normalizado nos E. U. A.) e na do tipo V (cimento portland artificial resistente aos sulfatos, normalizado nos E. U. A.). (89)

Na fig. 65 está indicada a variação do coeficiente de difusão do ião $SO_4^{=}$ com o traço da argamassa, ao fim de 4 semanas de conservação numa solução de 0,15 mols de SO_4Na_2 marcada com o S 35. Os cimentos são os do tipo I e do tipo V, e as argamassas foram conservadas prèviamente, durante tempos variáveis, conforme o traço, em água de cal.

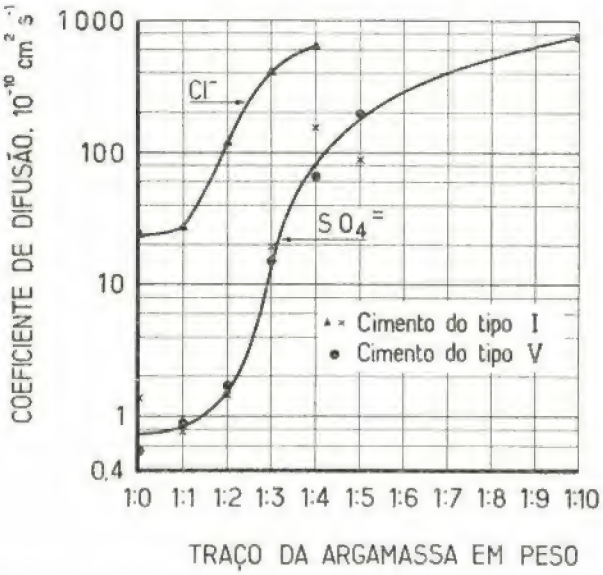


Fig. 65 – Variação do coeficiente de difusão dos iões Cl^- e $SO_4^{=}$ com o traço da argamassa, ao fim de 2 e 4 semanas respectivamente de imersão numa solução de 0,15 mols de cloreto e de sulfato de sódio respectivamente. Conservação prévia em água de cal de 6 semanas para a pasta de cimento, de 8 semanas para a argamassa de 1 : 1, de 16 semanas para as argamassas de 1 : 2, 1 : 3 e 1 : 4 e de 18 semanas para as argamassas de 1 : 10 (87).

A título comparativo, nesta mesma figura está indicado o valor do coeficiente de difusão do ião Cl^- de argamassas preparadas com o cimento do tipo I, conservadas numa solução de 0,15 mols de ClNa, com o Cl 36 como indicador, ao fim de 2 semanas. Os coeficientes de difusão do ião Cl^- são bem mais elevados do que os do ião $SO_4^{=}$.

Na fig. 66 está indicada a variação do coeficiente de difusão do ião $SO_4^{=}$ com o tempo de conservação numa solução de SO_4Na_2.

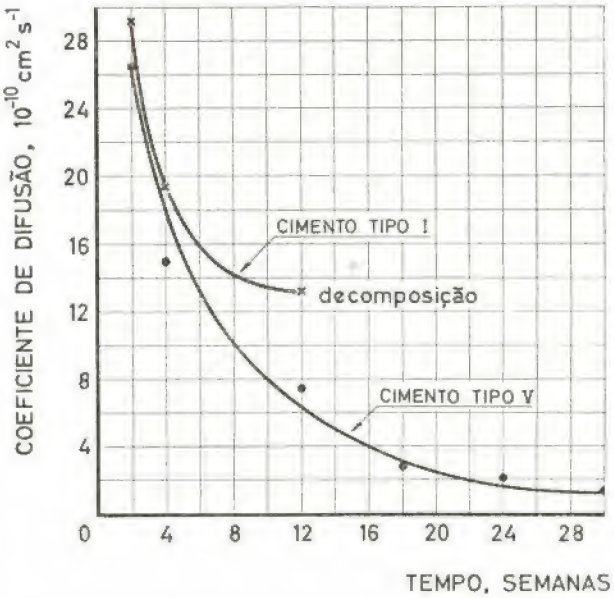


Fig 66 – Variação, com o tempo, do coeficiente de difusão do ião $SO_4^{=}$ duma argamassa de 1 : 3, conservada prèviamente, durante 16 semanas, em água de cal (87).

O andamento geral destas curvas é perfeitamente lógico e está dentro do que é geralmente conhecido: diminuição progressiva do coeficiente de difusão com a idade da argamassa, o que pode ser devido a precipitações que se darão no interior dos capilares, e aumento deste coeficiente à medida que o traço da argamassa diminue, o que é evidentemente devido ao aumento do diâmetro dos capilares e à diminuição da compacidade da argamassa.

A ordem de grandeza do coeficiente é notável. Para referenciação bastará dizer que um coeficiente de $0{,}54 \times 10^{-10}$ cm^2 s^{-1}, que é o da pasta de cimento, indica que 1 grama de sulfato dissolvido na água levará 600 anos a atravessar uma parede de pasta de cimento com 1 cm de

espessura, enquanto 1 grama de vapor de água demora cerca de 4 anos.*

Numa argamassa com o traço de 1:10, 1 grama de sulfato demorará 5,2 meses a atravessar a mesma espessura de 1 cm.

No caso da conservação prolongada das argamassas em soluções de sulfato, os coeficientes de difusão das argamassas confeccionadas com o cimento do tipo V (resistente aos sulfatos) chegam a valores muito baixos (fig. 66), comportando-se como argamassas mais ricas, enquanto nas argamassas feitas com o cimento portland ordinário do tipo I, a queda é muito menos acentuada, podendo até (o que não está indicado na figura) aumentar com o tempo, antes do espécime se tornar inutilisável para a determinação do coeficiente, em virtude da acção de decomposição do sulfato.

A diferença no comportamento destes dois tipos de cimento em face dos sulfatos não é pois devida a uma diferença no coeficiente de difusão do ião $SO_4^{=}$.

Estas experiências provam que no momento em que as argamassas começam a mostrar sinais de decomposição, a penetração do ião $SO_4^{=}$ é de poucos décimos de milímetro, mas uma tal penetração já é suficiente para provocar a formação do sulfoaluminato expansivo em condições tais que fende completamente a camada superficial da argamassa; a partir deste momento a reacção é cada vez mais rápida, devido à multiplicação de fendas na argamassa.

Estas experiências, realizadas com o concurso das técnicas mais recentes, vêm portanto provar a realidade das ideias de Vicat, emitidas há quase 150 anos, sobre a forma e existência da camada protectora. Vê-se assim que a questão da manutenção duma argamassa ou betão num meio agressivo se reduz simplesmente à determinação das condições para a formação da camada protectora. É o exame desta questão que vamos fazer nos parágrafos seguintes.

81. Acção da permeabilidade e do anidrido carbónico agressivo. — As condições de conservação do betão dependem de dois factores essenciais:

a) compacidade do betão

b) condições para a formação, ou não formação, duma camada protectora à superfície do betão, constituída por uma precipitação de sais que se manterão indefinidamente, desde que as condições exteriores não variem.

Deve notar-se que a primeira condição, de per si, não é determinante da conservação do betão, se a camada protectora se não forma; ela pode alterar a velocidade da destruição, mas se o meio é agressivo e a camada protectora se não forma, a destruição por ataque químico é fatal, sendo apenas uma questão de tempo.

A acção da compacidade do betão pode ser explicada do seguinte modo:

Quando o líquido agressivo chega ao contacto com o betão, se este é muito poroso, pouco compacto, o líquido fàcilmente penetra nos poros do betão, atingindo o cimento e banhando-o nos seus poros; a água que este contém está, como vimos, saturada de $(OH)_2Ca$, tendo um pH superior a 12, e então, depois desta chegada de líquido exterior, o pH da solução de contacto com o cimento tende a baixar. Normalmente, as condições são tais que o líquido que penetra no betão tem tendência para o percorrer, atravessando-o, e arrastando o hidróxido de cálcio consigo, quer em combinação, quer em dissolução, mantendo portanto o pH da solução de contacto a tendência para diminuir. Este desaparecimento do hidróxido de cálcio já cristalizado provoca ainda um aumento da porosidade, pelo que as condições de ataque são cada vez mais intensas.

Mas se o betão tem uma compacidade suficiente, a penetração do líquido é muito mais difícil, e o processo anterior, que se poderia tornar sensível ao fim de algumas semanas ou meses, sòmente se poderá tornar sensível ao fim de anos.

Intervém agora um factor que é de importância capital: é a acção do anidrido carbónico que se pode encontrar dissolvido no líquido. É a sua acção que determina a formação, ou não formação, da camada protectora. Com efeito, se as condições ambientes são favoráveis, o anidrido carbónico da água, os bicarbonatos em solução nas águas e outros sais, precipitam à superfície do betão, por combinação com o $(OH)_2Ca$ (é o caso por exemplo das águas incrustantes em que um ligeiro aumento da concentração do ião cálcio na água pode ser suficiente para provocar a precipitação do bicarbonato que se encontra em

* O coeficiente de permeabilidade ao vapor de água da pasta de cimento é da ordem de 0,5 a $1{,}0 \times 10^{-7}$ $cm^2 s^{-1}$. (77)

dissolução), formando-se à superfície do betão uma camada incrustante, proveniente da precipitação dos sais, camada essa que, se as condições exteriores se mantêm sempre, é suficiente para provocar uma protecção eficaz e uma duração ilimitada do betão nesse meio.

A eficácia da carbonatação depende essencialmente das circunstâncias em que ela se efectua [90]:

a) se o carbonato de cálcio se produz ràpidamente a partir de soluções saturadas de hidróxido de cálcio (pH = 12) é pulverulento, sem aderência e ineficaz do ponto de vista de protecção da argamassa. É o caso, por exemplo, da sua formação nos betões e argamassas de cimento portland com uma circulação intensa de água (argamassas e betões porosos — onde a dimensão dos poros é tão grande que nunca chega a haver condições para a sua obturação pelo carbonato de cálcio);

b) se o carbonato de cálcio precipita duma solução com uma concentração inferior a 650 mg de hidróxido de cálcio por litro de água (pH aproximadamente 11), apresenta-se em cristais de calcite bem nítidos e perfeitamente aderentes, preenchendo os poros do betão ou argamassa (é o que se dá nos cimentos pouco ricos em cálcio, em particular nos cimentos pozolânicos);

c) se o carbonato de cálcio precipita duma solução que contém cloretos, que precipitam conjuntamente com aquele, a camada é altamente impermeável e atrasa muito ou impede ràpidamente a difusão da cal para o exterior (é o caso da camada protectora formada na água do mar);

d) se o carbonato de cálcio precipita duma solução que contém sulfatos em quantidade excessiva, então a presença dos sulfatos precipitados também conjuntamente com o carbonato de cálcio, na camada superficial, torna esta camada permeável, porosa, não apresentando a mesma solidez da anterior e destacando-se fàcilmente da superfície da argamassa ou betão (é o caso da camada formada nas soluções de sulfatos ou nas águas selenitosas);

e) o carbonato de cálcio pode chegar a nunca precipitar à superfície do betão por falta de condições: por exemplo, se a água com a qual o betão está em contacto possui anidrido carbónico agressivo; então o hidróxido de cálcio do cimento nunca chega a precipitar sob a forma de CO_3Ca, ficando sempre em solução sob a forma de $(CO_3H)_2Ca$.

Quando se forma a camada protectora, a qual é pois devida exclusivamente ao papel do anidrido carbónico da água, então a argamassa ou betão fica imune aos ataques provenientes de qualquer ião agressivo.

82. A acção agressiva da água do mar. — Tudo o que se tem dito anteriormente sobre a agressividade dos diferentes iões para o betão e sobre a sua protecção é aplicável à acção da água do mar sobre o betão.

No entanto, a acção deste meio é tão importante, pois a maior parte do betão que é colocada em meios agressivos está no mar, que merece que nos detenhamos um pouco mais demoradamente sobre este assunto.

Para tornar mais compreensível as acções, agressiva e de defesa, que, simultâneamente, a água do mar pode provocar, vamos começar por apresentar, resumidamente, algumas generalidades sobre a composição química da água do mar, seguindo-se depois a apresentação das condições que favorecem ou impedem a boa conservação do betão neste meio.

82.1. Composição química da água do mar. — Como se sabe, [91] apesar da concentração absoluta dos sais na água do mar ser um pouco variável de ponto para ponto do mar, não só com a profundidade mas também com a proximidade dos rios, costas, etc., as relações entre os diferentes componentes mais importantes são pràticamente constantes, resultado que é de grande importância nos estudos dos equilíbrios dos compostos na água do mar. Assim, as relações entre a clorinidade, a salinidade e a densidade são sensìvelmente constantes, e, conhecida uma destas quantidades, como a densidade, fàcilmente se deduzem as outras características.

A clorinidade é a quantidade total de cloretos, brometos e iodetos, em gramas, contidos em 1 kg de água do mar, supondo que os brometos e iodetos foram substituidos por cloretos.

A salinidade é a quantidade total de substância sólida, em gramas, contida em 1 kg de água do mar, quando todo o carbonato foi transformado em óxido, os brometos e iodetos substituídos pelos cloretos, e toda a matéria orgânica foi completamente oxidada. A salinidade dos oceanos

está geralmente compreendida entre 33 ‰ e 37 ‰.

No entanto, à superfície, nas regiões pluviosas ou junto das embocaduras dos rios, pode ser consideràvelmente menor. Em mares isolados, como no Mar Vermelho, onde a evaporação é excessiva, a salinidade pode atingir 40 ‰ ou mais.

A composição média da água do mar está indicada no quadro XLIX. Com o fim de dar uma ideia da variabilidade das composições, nas duas últimas colunas deste quadro estão indicadas as composições médias das águas do Oceano Atlântico e do Mar Mediterrâneo (2).

QUADRO XLIX

Composição média da água do mar

Ião	Concentração			
	g kg⁻¹	%	Oceano Atlântico g kg⁻¹	Mar Mediterrâneo g kg⁻¹
Cl^-	18,980	55,04	17,83	21,38
Br^-	0,065	0,19	0,06	0,07
$SO_4^=$	2,649	7,68	2,54	3,06
CO_3H^-	0,140	0,41		
F^-	0,001	0,00		
BO_3H_3	0,026	0,07		
Mg^{++}	1,272	3,69	1,50	1,78
Ca^{++}	0,400	1,16	0,41	0,47
Sr^{++}	0,013	0,04		
K^+	0,380	1,10	0,33	0,42
Na^+	10,556	30,61	9,95	11,56
Salinidade total	34,482			

Vários factores, presentes em condições locais, podem modificar as quantidades relativas destes elementos, como a secreção do carbonato de cálcio por organismos, a presença de estuários de rios importantes que conduzem materiais dissolvidos em proporções que são diferentes das da água do mar, a formação e fusão do gelo, etc.

Além dos iões referidos, a água do mar contém em dissolução os gases que existem na atmosfera que com ela estão em contacto, azoto, oxigénio, árgon, anidrido carbónico e hidrogénio. Estes gases dissolvem-se na água de acordo com a sua pressão parcial na atmosfera (lei de Henry) e de acordo com a sua solubilidade, e por isso a proporção em que eles se encontram dissolvidos na água do mar não é igual à proporção em que eles se encontram na atmosfera. A concentração, m, de um gás num líquido é proporcional à pressão parcial do gás, p, e ao seu coeficiente de solubilidade c_s:

$$m = p \cdot c_s .$$

No quadro L estão indicados os gases principais que compõem a atmosfera, a sua pressão parcial nesta e as quantidades em que normalmente ocorrem na água do mar.

QUADRO L

Pressão parcial dos principais gases na atmosfera e na água do mar

Gases	Pressão parcial na atmosfera		Quantidade existente em 1 l de água do mar *mg*
	torr.	%	
Azoto	593,02	78,03	10,5 a 18
Oxigénio	159,52	20,99	0 a 12
Árgon	7,144	0,94	
Anidrido carbónico	0,228	0,03	66 a 110
Hidrogénio, néon, hélio	0,088	0,01	
Total . . .	760,000	100,00	

Os principais factores que controlam a distribuição dos gases dissolvidos nos oceanos são a temperatura, a salinidade, a actividade biológica, que afecta notàvelmente a concentração de oxigénio e de anidrido carbónico, e as correntes, que tendem a modificar, por mistura, os efeitos da actividade biológica.

De todos estes gases o mais importante sob o nosso ponto de vista é o anidrido carbónico. Como mostra o quadro L, a pressão parcial do anidrido carbónico na atmosfera é, em média, de 0,228 torr, a 760 torr e 0° C, que representa uma contribuição de 0,03 % para a pressão total da atmosfera. Mas esta pressão parcial pode sofrer certas variações locais.

Nas águas do mar a presença do anidrido carbónico é muito mais importante pois, além da sua solubilidade intervém a sua combinação com os catiões básicos em dissolução na água do mar, sob a forma de carbonatos e bicarbonatos. A proporção é aproximadamente de 1 de anidrido carbónico dissolvido para 8 de carbonato e para

150 de bicarbonato. Em consequência deste facto, 1 litro de água do mar contém cerca de 150 vezes mais anidrido carbónico do que a atmosfera. (92)

A solubilidade do anidrido carbónico varia consideràvelmente com a temperatura; na fig. 67 está representada a variação do coeficiente de solubilidade deste gás na água do mar, com a temperatura. Como se vê, a variação é muito importante, e desde 0° C a 25° C a solubilidade diminui do simples para metade.

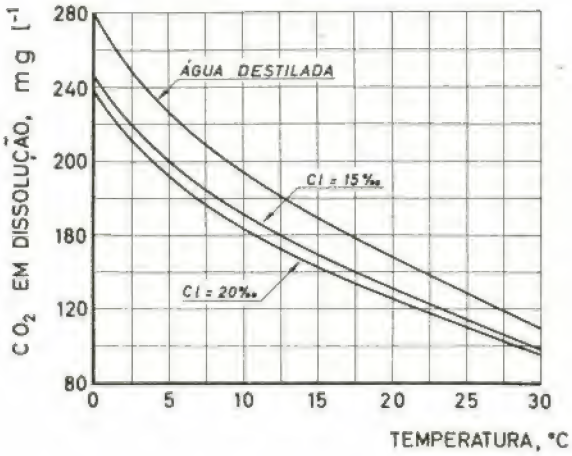


Fig. 67 — Curvas de variação da solubilidade do anidrido carbónico com a temperatura e com a salinidade da água, desde a água destilada até à água do mar, com clorinidade igual a 20 ‰ (91).

A solubilidade varia ainda com a composição da água: quando a percentagem de cloretos (clorinidade) aumenta, a solubilidade diminui.

Tal como no caso das águas doces, também na água do mar existe uma relação entre o pH e a quantidade de anidrido carbónico livre; na fig. 68 está indicada a variação do pH da água do mar com uma clorinidade de 19 ‰ a 20° C, em função da pressão parcial do anidrido carbónico na atmosfera. Na fig. 69 está indicada a variação do teor dos carbonatos, bicarbonatos e anidrido carbónico livre em função do pH da água do mar nas mesmas hipóteses.

A observação mostra que o pH da água do mar varia normalmente entre 7,5 e 8,4. Os valores mais elevados do pH são geralmente encontrados à superfície ou junto dela. Em média, como a pressão parcial do anidrido carbónico na atmosfera é de 0,23 torr a 20° C, o pH da água do mar em equilíbrio com ela é de cerca de

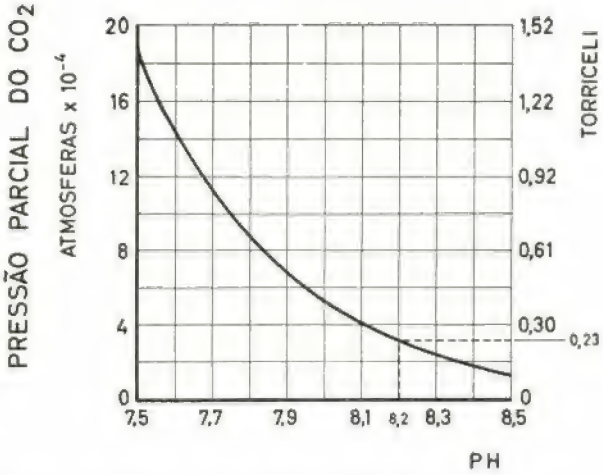


Fig. 68 — Variação do pH da água do mar com a pressão parcial do anidrido carbónico na atmosfera (clorinidade da água do mar, 19 ‰, temperatura, 20°C) (91).

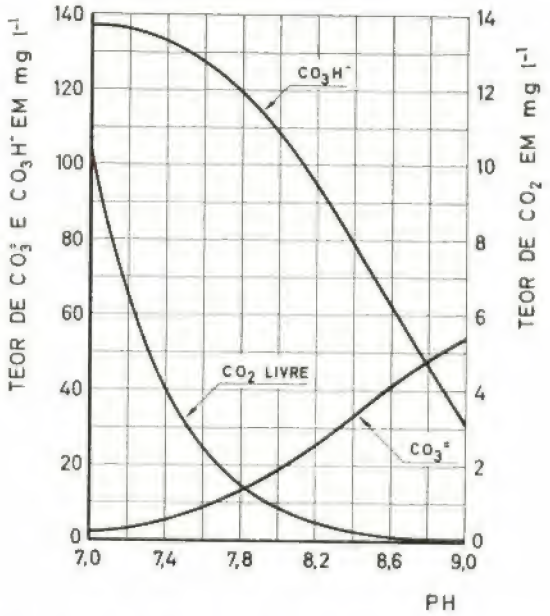


Fig. 69 — Variação do teor de carbonatos, bicarbonatos e anidrido carbónico livre em função do pH da água do mar (clorinidade da água do mar 19 ‰, temperatura, 20°C) (91).

A escala do anidrido carbónico livre está indicada do lado direito da figura.

8,1 a 8,3 (fig. 68), o que corresponde portanto a cerca de 0,5 mg de anidrido carbónico livre por litro de água (fig. 69). Mas este valor médio pode sofrer alterações quando a actividade fotosintética das plantas tende a reduzir o teor de anidrido carbónico e portanto a aumentar o pH. Além disso, em condições particulares que podem existir junto de grandes bacias, estuários,

etc., o pH pode afastar-se destes limites, devido, por exemplo, ao ácido sulfídrico que pode existir nesses locais.

O teor de anidrido carbónico, quer total, quer livre, varia ainda com a profundidade; nos primeiros 50 m o teor de anidrido carbónico (total ou livre) diminui ligeiramente com a profundidade, devido à assimilação biológica, e, em seguida aumenta até 500 m, onde atinge o máximo (da ordem de 11×10^{-4} atmosferas, o que dá um pH de 7,7) devido ao desaparecimento da matéria orgânica. Quando estas massas ricas de anidrido carbónico sobem até à superfície (como se observa por exemplo próximo da costa ocidental de África) o teor de anidrido carbónico do ar atmosférico sobe localmente até 7×10^{-4} atmosferas, o que significa que estas águas superficiais são ricas de anidrido carbónico livre. (92)

As considerações feitas na alínea b) do § 79.1 sobre a existência do anidrido carbónico na água são aqui também inteiramente aplicáveis. Com efeito, o anidrido carbónico da água do mar encontra-se sob os três estados citados: carbonatos, bicarbonatos e livre (dissolvido). Deste anidrido carbónico livre, uma parte é equilibrante, para manter os bircarbonatos em dissolução e a outra parte é agressiva.

A discussão do sistema do anidrido carbónico na água do mar é bastante complicada, mas, no nosso caso, é da mais alta importância pois é a existência do anidrido carbónico livre na água do mar que condiciona a possibilidade da formação duma camada de carbonato de cálcio à superfície da peça de betão. Com efeito, numa água que contenha anidrido carbónico livre, não é possível a precipitação do carbonato de cálcio à superfície do betão, e então não é possível a obtenção de qualquer camada protectora da peça. Pelo contrário, se a água do mar não contém anidrido carbónico livre, então é possível a precipitação do carbonato nos poros da superfície do betão, formando-se portanto a camada protectora que conserva o betão.

82.2. Mecanismo da acção agressiva da água do mar. — O betão de cimento portland colocado dentro da água do mar pode sofrer o seu ataque devido à acção química dos sais dissolvidos, à cristalização dos sais no seu interior provocada pela molhagem e secagem alternadas, à acção do gelo, ao atrito e desgaste mecânico das ondas e à corrosão das suas armaduras. O ataque por qualquer destas vias torna o betão mais susceptível de sofrer o ataque pelos outros agentes potenciais de destruição. A causa que agora nos interessa considerar é apenas a primeira.

A observação da natureza e quantidade dos sais indicados no quadro XLIX, e o que tem sido referido neste capítulo (§ 79) mostra que o principal agente destruidor é o sulfato de magnésio, cujo mecanismo de acção já foi discutido. A presença de outros iões, contudo, como a do ião cloro, pode alterar o carácter ou a rapidez das deteriorações, e bem assim as condições de solubilidade do hidróxido de cálcio, mas, fundamentalmente, o mecanismo é sempre o mesmo: primeiramente saída do hidróxido de cálcio, por difusão, da argamassa ou do betão para o mar, da qual resulta, como já dissemos, uma diminuição da resistência e um aumento da porosidade, e em seguida a expansão e a desagregação do betão ou argamassa enfraquecidos.

Em primeiro lugar, os sais de magnésio da água do mar reagem com o hidróxido de cálcio promovendo a formação de sais de cálcio, com a libertação de hidróxido de magnésio.

Em seguida, o cloreto de sódio transforma o aluminato tetracálcico em aluminato bicálcico, e depois, um excesso de cloreto de sódio, assim como o cloreto de cálcio que provém da acção do cloreto de magnésio sobre o hidróxido de cálcio, combinam-se com o aluminato para dar origem à formação do cloroaluminato de cálcio. (93)

Se não há hidróxido de cálcio livre no cimento, o aluminato bicálcico e o cloroaluminato deixam dissolver um pouco de alumina e o sulfoaluminato que se forma a partir destes sais dissolvidos não provoca qualquer expansão. Se, pelo contrário, há hidróxido de cálcio livre, o aluminato bicálcico e o cloroaluminato são completamente insolúveis, e a solução do sulfato de cálcio ao reagir sobre estes dois sólidos dá origem a uma expansão.

Convém notar mais uma vez que estas reacções só se dão à superfície da argamassa ou betão, e não no interior ou por toda a sua massa. No início da acção da água do mar não há penetração dos sais de magnésio para o interior, mas, pelo contrário, difusão da cal para o exterior, cal que, *se as condições são favoráveis*, faz precipitar o magnésio dos sais da água do mar, for-

mando, à superfície do betão ou argamassa uma camada protectora de hidróxido de magnésio misturado com sais minerais, como, essencialmente, carbonatos, e, em menor grau, sulfatos e cloretos.

Resta-nos agora examinar as condições para a formação desta camada protectora de carbonato de cálcio à superfície da peça de betão. A discussão de tais condições é, evidentemente, da maior importância.

82.3. Formação da camada protectora sobre o betão conservado na água do mar. — Se já não é muito fácil determinar, no caso da água doce, as condições de precipitação do carbonato de cálcio, na água do mar as dificuldades são muito maiores, sendo mesmo impossível, no estado actual do conhecimento, predizer, com precisão, quais as condições necessárias para que essa precipitação se dê, apesar de se conhecerem as condições que favorecem quer a precipitação quer a dissolução do carbonato de cálcio.

O fornecimento de carbonato de cálcio pelos rios é relativamente importante, e então é fácil prever que, junto a eles, devem existir condições próximas da saturação.

Quando, por qualquer razão, o teor de anidrido carbónico na atmosfera diminui, a água do mar cede-o à atmosfera, promovendo a sua saída dos bicarbonatos e provocando a sua precipitação. A água do mar nestas condições é incrustante, e, colocada em presença do betão contribuirá para a formação da camada protectora. Quando, pelo contrário, o teor de anidrido carbónico na atmosfera aumenta, devido por exemplo ao aumento de combustões, quer animais ou vegetais, quer industriais, a água do mar tende a absorvê-lo, diminuindo portanto o seu pH e provocando a dissolução do carbonato de cálcio que porventura ela contenha em suspensão ou que esteja em contacto com ela. Em tais condições a água do mar é agressiva e no betão que com ela estiver em contacto não será possível a formação da camada protectora.

Os factores que provocam o aumento da pressão do anidrido carbónico na superfície das águas são:

a) subida de temperatura
b) subida de salinidade (evaporação)
c) respiração
d) precipitação do carbonato de cálcio
e) aparecimento, à superfície, de águas profundas.

A pressão parcial do anidrido carbónico diminue quando:

a) a temperatura desce
b) a salinidade diminue
c) se dá a actividade fotosintética das plantas marinhas, que fixam o anidrido carbónico
d) se dissolve o carbonato de cálcio.

Portanto, *as condições mais favoráveis para a precipitação do carbonato de cálcio devem ocorrer nas águas de alta salinidade e de alta temperatura, contendo uma actividade importante de plantas.* Tais condições encontram-se portanto nas baixas latitudes e nas regiões pouco profundas.

É natural pensar que, quando o pH da água do mar é igual ou superior a 8,4, que é o pH de equilíbrio dos bicarbonatos, a água não possa conter anidrido carbónico agressivo, sendo pois uma água incrustante. Quando o pH é inferior a este, é natural que ela contenha algum anidrido carbónico agressivo e portanto não permita a formação da camada protectora. Mas, na verdade, há actualmente ainda bastante falta de dados experimentais sobre esta acção da água do mar.

Junto à costa de Portugal, e na zona superficial dos portos de Leixões, Peniche e Lisboa (Paço de Arcos, Parede) só temos encontrado valores de 8,3 a 8,4 do pH, determinado com o indicador vermelho de cresol, o que indica estarmos em presença de águas que não devem possuir já anidrido carbónico livre, sendo portanto incrustantes, isto é, permitindo a formação da camada protectora. Contudo, estas observações têm sido puramente fortuitas, não havendo ainda observações sistemáticas do valor do pH nos nossos portos.

Como já dissemos, a camada protectora é principalmente formada por carbonato de cálcio, mas pode conter outros compostos, como o hidróxido de magnésio, sulfatos de cálcio e magnésio, sílica hidratada, alumina hidratada, etc., e conter até alguma vegetação marinha.

Esta película pode ser impermeável e atrazar a difusão da cal, como acontece quando ela é rica em cloretos (§ 81). Mas, se é rica em sulfatos, é porosa e não apresenta a mesma solidez, dando origem à formação do sulfoaluminato, que provoca o destaque da camada. Logo que há uma fenda, mesmo muito ténue, a água salina penetra por aí, formando sobre os dois lábios da fenda

novas camadas que se levantam e se destacam por seu turno, abrindo novas fendas, e assim de seguida até à desagregação completa da argamassa.

Os cloretos da água do mar atenuam o efeito dos sulfatos, como vimos no § 82.2, e a desagregação do betão na água do mar é geralmente muito menos rápida do que nas soluções de sulfatos ou nas águas selenitosas. Nestas, a formação da camada protectora é portanto mais difícil, facto que é necessário ter na devida conta quando se procede aos ensaios de resistência química dos ligantes hidráulicos em soluções de sulfatos. Neste caso vê-se bem como é difícil tirar, em geral, conclusões àcerca do comportamento dos ligantes hidráulicos na água do mar a partir de ensaios realizados sobre o comportamento nas soluções de sulfatos.

83. Papel da pozolana na protecção do betão da acção corrosiva provocada pelos agentes agressivos exteriores. — Do que se tem dito sobre o mecanismo do ataque do cimento portland pelos agentes da sua corrosão, acção dissolvente das águas puras e ataque do ião $SO_4^{=}$, fàcilmente se depreende que a pozolana pode desempenhar um papel fundamental na protecção do cimento portland. Com efeito, desde que ela se combine com o hidróxido de cálcio, fixa-o, dando lugar a produtos, silicatos e aluminatos, que são estáveis em contacto com soluções não concentradas de hidróxido de cálcio, com pH da ordem de 10 a 11. O hidróxido de cálcio deixa então de cristalizar em grandes cristais no interior dos poros do betão e a sua dissolução e arrastamento pelo líquido agressivo que percorre o betão não provoca o aumento de porosidade que vai agravar as condições de conservação do betão, pois que está muito mais disseminado pelo interior dos capilares. Os produtos da combinação da pozolana com a cal são muito menos solúveis, e daí a sua menor sensibilidade ao abaixamento do pH da solução de contacto, que é então mais difícil.

No que se refere à acção do ião $SO_4^{=}$, vimos já que a formação do sulfoaluminato se faz com expansão em soluções saturadas de hidróxido de cálcio (sem dissolução dos aluminatos) mas realiza-se sem expansão em soluções menos concentradas de hidróxido de cálcio (de pH $<$ 11) com dissolução dos aluminatos e precipitação subsequente do sulfoaluminato. É o que se dá nos cimentos pozolânicos, pois nestes os compostos resultantes da combinação da cal com a pozolana, em particular os aluminatos, estão em equilíbrio com soluções não saturadas de hidróxido de cálcio. O sulfoaluminato que se forma nos cimentos pozolânicos resulta da precipitação dos aluminatos com os sulfatos, nos poros do cimento, e portanto contribui para o aumento da compacidade do betão.

Às explicações de carácter teórico, digamos assim, e baseadas na observação das condições de formação do sulfoaluminato de cálcio, estudadas por franceses e italianos, pode-se adicionar mais uma, de carácter um pouco menos científico, pois é mais difícil de verificar experimentalmente, mas que costuma ser muitas vezes apontada, sobretudo na literatura anglo-saxónica [2]: o aumento de resistência química conferido pela pozolana pode ser devido à formação duma camada protectora de silicatos de cálcio, produzidos pela reacção da cal com a pozolana, sobre os compostos vulneráveis de alumina, impedindo assim quer a saída do hidróxido de cálcio quer a reacção do ião $SO_4^{=}$.

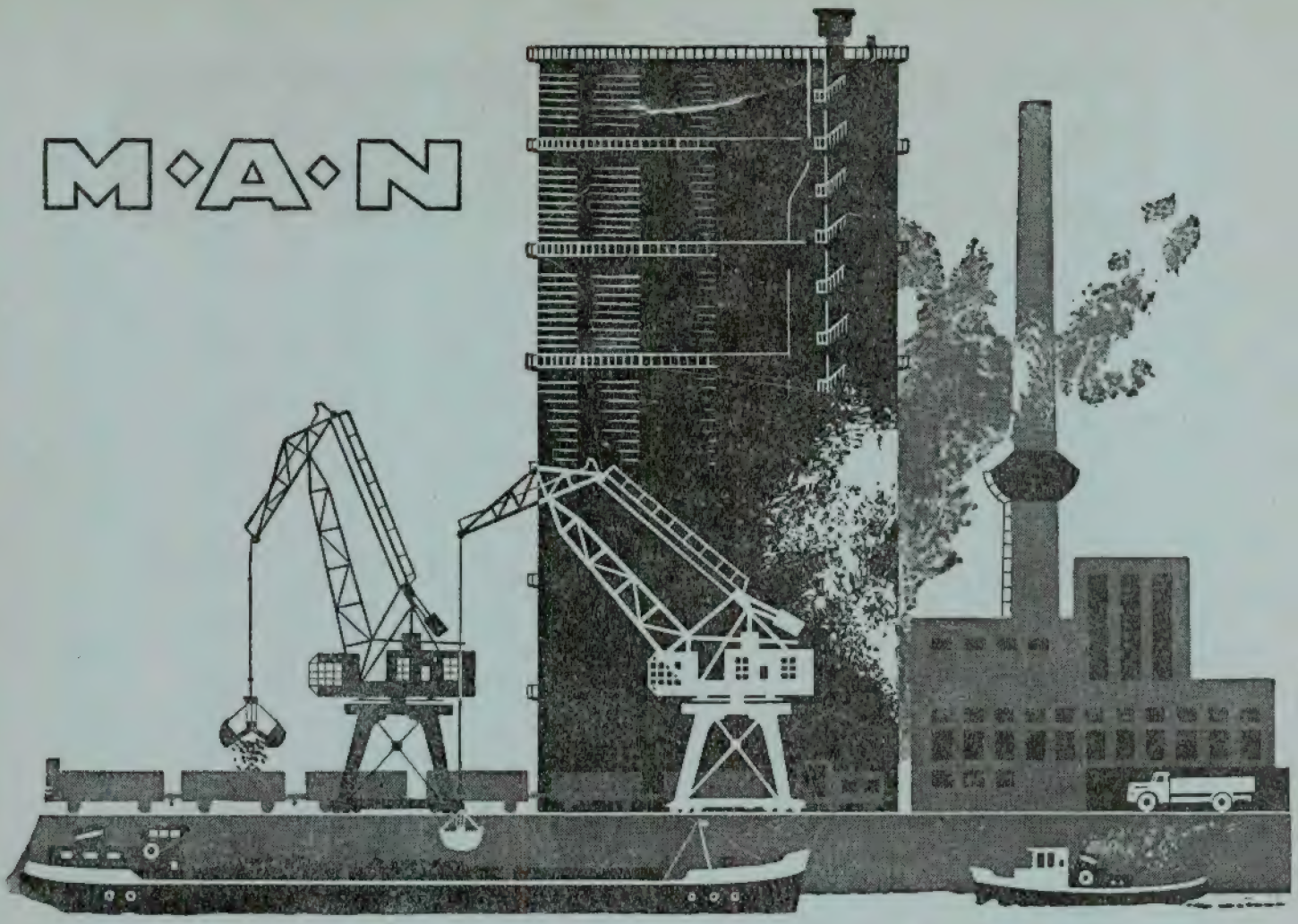
Seja como for, o facto é que a pozolana provoca um aumento substancial na resistência do cimento portland, acrescendo ainda que a natureza da camada protectora formada à superfície da peça de betão é muito mais eficaz, pois, como já se disse, a precipitação do carbonato de cálcio faz-se a partir duma solução não saturada de hidróxido de cálcio.

Vamos em seguida referir-nos a algumas experiências de laboratório que provam bem como a resistência intrínseca do ligante é de facto aumentada pela presença da pozolana.

84. Resultados experimentais da acção da pozolana no aumento da resistência do cimento ao ataque pelos sulfatos. — Muitas experiências têm provado o aumento de resistência química ao ataque pelos sulfatos e pela água do mar, que a pozolana confere ao cimento portland.

Estes ensaios são, geralmente, de dois tipos: por imersão e por filtração.

No primeiro tipo de ensaios os espécimes são mergulhados, total ou parcialmente, nas soluções de sais, ou água do mar, cuja acção se pretende determinar, e, ou são simplesmente observados ao fim de determinados intervalos de tempo, ou



MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG A-G · WERK NÜRNBERG

INSTALAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ A VAPOR · INSTALAÇÕES DE FORÇA MOTRIZ A GÁS · GUINDASTES E TRANSPORTADORES · MATERIAL CIRCULANTE FERROVIÁRIO · MÁQUINAS PARA ENSAIOS DE MATERIAIS · INSTALAÇÕES DE CONDICIONAMENTO DE AR · PONTES DE AÇO · INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DE AÇO · CONSTRUÇÕES METÁLICAS · BOMBAS · GASÓMETROS · CALDEIRAS A VAPOR CANALIZAÇÕES DE AÇO · MOTORES DIESEL TERRESTRES E MARÍTIMOS

REPRESENTAÇÃO GERAL PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

INDUMA

MÁQUINAS INDUSTRIAIS LIMITADA
AVENIDA ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 88-3.º · LISBOA

FILTROS DE PRESSÃO PARA TODOS OS RAMOS DA INDÚSTRIA

TERRA DE DIATOMÁCEAS PARA FILTRAÇAO, TINTAS, ISOLAMENTOS, ETC.

REPRESENTANTES

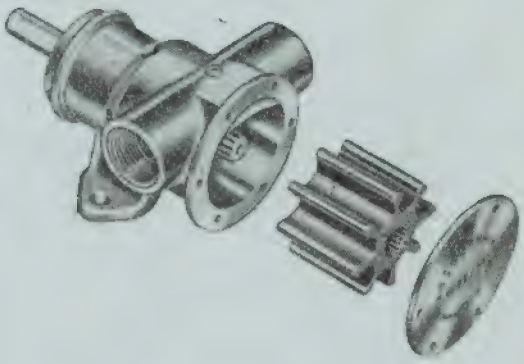
António Pacheco Agostinho, Lda.

Rua Rodrigues Sampaio, 15, 2.º Dt.º

Telefone 54191

LISBOA

BOMBAS



Se há um problema de bombas consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boa Vista, 63 — LISBOA

WORTHINGTON-CORPORATION

U. S. A. e FILIAIS EUROPEIAS

BOMBAS CENTRÍFUGAS:
Horizontais
Verticais para poços profundos
Liga especial para indústrias químicas
Pasta de papel, etc., etc.

BOMBAS ROTATIVAS DE CARRETOS
BOMBAS ALTERNATIVAS A VAPOR
COMPRESSORES DE AR
TURBINAS A VAPOR - CONDENSADORES

REPRESENTANTES e LICENCIADOS

H. VAULTIER & C.ª

sujeitos a ensaios de resistência mecânica, (destrutivos ou não destrutivos), no decorrer do tempo, ou ainda se medem as expansões que vão sofrendo. Destes critérios é possível averiguar o comportamento dos espécimes.

No segundo tipo de ensaios, por filtração, os espécimes são sujeitos à acção filtrante das soluções cuja acção se pretende determinar, exactamente como nos ensaios que descreveremos no parágrafo seguinte.

Qualquer destes tipos de ensaios está sujeito a erros muito importantes, pois a possibilidade da formação da camada protectora é muito grande em ensaios de laboratório, se se não tomarem as devidas precauções (controle apertado do pH do meio de imersão e renovação frequente desse meio, de acordo com as indicações dadas pelo valor do pH).

Por outro lado, como as experiências são feitas necessàriamente sobre espécimes de dimensões reduzidas, os resultados obtidos são sempre muito desfavoráveis quando se generalizam estes para as grandes estruturas maciças: a espessura tem uma importância grande na impermeabilidade do conjunto, e os fenómenos que se passam à superfície podem não ter repercussão importante no conjunto da obra. Por exemplo, como a velocidade da formação do sulfoaluminato de cálcio expansivo pode ser maior do que a velocidade com que uma dada pozolana fixa a cal, podem então produzir-se expansões nos primeiros tempos. Estas expansões, que podem ser decisivas num pequeno espécime, podem não ter importância numa grande massa de betão, se esta for suficientemente impermeável para impedir o acesso dos sulfatos e permitir a evolução regular dos fenómenos de endurecimento, de combinação da cal com a pozolana. (94) (95) (96)

Feret (2) (49) fez experiências, quer por filtração quer por imersão em água do mar, e os resultados dos ensaios mostraram os efeitos benéficos da substituição do cimento por uma pozolana activa, até mesmo nas argamassas pobres. Os seus ensaios foram realizados durante larguíssimos períodos, superiores a 24 anos.

Nas experiências de R. Davis, Hanna e Brown, (96) realizadas com argamassas sujeitas ao ataque de soluções de sulfato de sódio, confeccionadas com cimentos portland de diversas composições (ricos, médios e pobres de óxido de cálcio, e pobres e médios de aluminato tricálcico) também se chega à conclusão que *os efeitos da pozolana são sempre muito mais benéficos do que as variações da composição química do cimento.* Aqui também se verificou que a natureza e dosagem da pozolana têm uma importância considerável sobre a resistência à acção agressiva dos sulfatos e que tal dosagem depende das naturezas do clínquer e da pozolana.

Também, das experiências de Cereseto e Rio,(74) onde, sistemàticamente se estudou a influência da natureza e proporção da pozolana, variando esta de 0 a 50 % de substituição de cimento, se deduz que, para certas pozolanas e cimentos, a percentagem de 20 % já confere uma elevada resistência à acção do sulfato de magnésio. Mas em geral é necessário ir até 30 % ou mais de substituição para se obter uma imunização ao ataque pelos sulfatos.

No ensaio Anstett, uma substituição de 50 % de pozolana reduz a expansão a $^1/_3$ e a substituição de 30 % redu-la a $^1/_2$. Pelo contrário, na série de ensaios realizados com substituição do cimento por inerte não há pràticamente redução na expansão.

As nossas experiências, referidas mais adiante, no Cap. 11, § 88, põem também em evidência como a pozolana pode impedir completamente a acção destruidora da água do mar.

85. Resultados experimentais da acção da pozolana no aumento da resistência do cimento ao ataque pelas águas puras. — O aumento da resistência química conferido pela pozolana à acção das águas puras é bem posto em evidência pelas experiências de Santarelli e Cesareni (97) que mostram como esta aumenta muito a resistência química às consequências da percolação do betão por estas águas.

Tais experiências consistem em fazer percorrer um espécime cilíndrico, de argamassa, com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, por um caudal constante de água destilada, com um dado pH, descarbonatada e protegida da carbonatação. À saída do espécime mede-se o teor de óxido de cálcio da água que o atravessou. O caudal da água destilada é de cerca de 100 cm^3 por hora.

A argamassa é composta por 1 parte, em peso, de cimento e 5 partes, em peso, de areia de granulometria uniforme, entre 1 mm e 0,5 mm.

O resultado da medição da quantidade, ou

melhor, do caudal de óxido de cálcio que é arrastado pela água que atravessou o espécime, fornece uma indicação da resistência do ligante usado na argamassa à acção deslavante da água: quanto menor for a quantidade de óxido de cálcio arrastado, maior será a resistência do ligante à água pura.

Tais ensaios de filtração podem realizar-se sobre espécimes de argamassa com diferentes idades e com substituição de diferentes percentagens de cimento por pozolana, de modo que se poderá sempre determinar a melhor percentagem e o melhor tempo de cura prévia do cimento pozolânico, ou da argamassa com pozolana, para que a resistência seja máxima.

Na fig. 70 estão indicados os resultados obtidos num ensaio de percolação de argamassas confeccionadas com um cimento portland e com um cimento pozolânico obtido pela moedura conjunta de 70 % dum clínquer de cimento portland com 30 % duma pozolana natural italiana. (97)

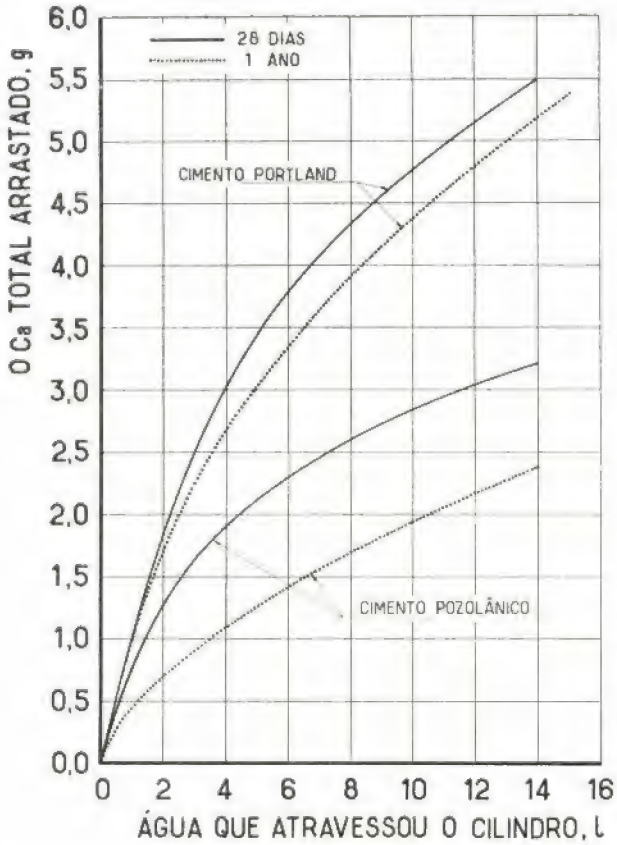


Fig. 70 — Relação entre a quantidade de água destilada que passa através de argamassas de 1 : 5 de cimentos portland e pozolânico, e as quantidades de óxido de cálcio por ela arrastadas. (97)

Em abcissas estão indicadas as quantidades totais de água destilada que passa através dos cilindros de argamassa e em ordenadas as quantidades de óxido de cálcio totais arrastadas por essa água.

Assim, enquanto numa argamassa de cimento portland com 28 dias de cura, 14 litros de água destilada provocam uma saída de 5,5 g de óxido de cálcio, no caso do cimento pozolânico um igual volume de água provoca uma saída de apenas 3,2 g.

Se a cura for prolongada para 1 ano, o cimento portland ainda deixa sair 5,2 g de óxido de cálcio, e o cimento pozolânico apenas deixa sair 2,4 g, isto é, menos de metade da quantidade arrastada da argamassa de cimento portland.

Estas experiências provam portanto que a pozolana provoca um aumento na resistência química do ligante à acção da hidrólise dos componentes do cimento pela água muito pura.

Se dois betões, igualmente fabricados, com o mesmo coeficiente de permeabilidade, são percorridos por água agressiva, por ser muito pura, o arrastamento da cal por esta é muito mais perigoso no betão de cimento portland do que naquele que contém pozolana. Efectivamente, como a cal é em grande quantidade a sua saída provoca um aumento cada vez maior no coeficiente de permeabilidade, enquanto no betão de cimento pozolânico, como a saída de cal é em muito menor quantidade, tal aumento no coeficiente de permeabilidade não se verifica com a mesma intensidade.

CAPÍTULO 11

MECANISMO DO ATAQUE DO CIMENTO PORTLAND PELOS AGENTES AGRESSIVOS INTERIORES E MEIOS DE O EVITAR

86. Deterioração do betão de cimento portland pelos agentes agressivos interiores. — Presentemente apareceram mais duas causas de ataque e deterioração do betão devidas à natureza do inerte que o constitui. É claro que nestas condições o nome de inerte já não estará bem aplicado, pois as britas, godos e areias que compõem o betão já deixam de ser inertes para passarem a tomar um papel activo no comportamento do betão.

Essas acções são as seguintes:

a) Reacção, em meio húmido, do sódio e do potássio, sempre presentes no cimento, com certas variedades de sílica existentes nos inertes.

b) Reacção de certas formas do feldspato dos inertes com os sulfatos da água do mar, em presença de soluções saturadas de hidróxido de cálcio.

A primeira acção foi descoberta em 1940, nos E. U. A., depois de vários acidentes de destruição por expansão, do betão de certas estruturas. (98)

A segunda acção, menos frequente, foi a causa da destruição do betão de obras marítimas no nosso país (Leixões e Viana do Castelo), provàvelmente no porto de Vigo, e de outras estruturas nos E. U. A., como as estacas da Ford Motor Co., em Long Beach, na Califórnia. (99) (100)

Vejamos em seguida o mecanismo destes dois tipos de deterioração, que podem ser eficazmente combatidos pela acção da pozolana.

87. Reacção do sódio e do potássio do cimento portland com certas variedades de sílica das areias, britas e godos. — O clínquer do cimento portland contém sempre, em maior ou menor quantidade, óxidos de potássio e sódio, provenientes quer das matérias-primas, quer dos carvões usados na sua fabricação.

Durante a fabricação do cimento, o potássio combina-se, de preferência, com o ião $SO_4^{=}$, para dar origem à formação do sulfato de potássio, que aparece cristalizado no clínquer. O excesso de potássio combina-se com o silicato bicálcico: em doze moléculas deste composto uma molécula de OCa é substituída por uma molécula de OK_2, formando-se o composto,

$$12\ SiO_2 . 23\ OCa . OK_2 .$$

O sódio pode existir no clínquer sob diversas formas:

a) combinado com o aluminato tricálcico: em três moléculas deste composto uma molécula de OCa é substituída por uma molécula de ONa_2, formando-se o composto,

$$3\ O_3Al_2 . 8\ OCa . ONa_2$$

que se pode combinar com o aluminato tricálcico numa série de soluções sólidas;

b) como componente da fase vítrea;

c) em solução sólida no silicato bicálcico;

d) em inclusões no silicato bicálcico β, que se produzem a partir das anteriores quando o silicato bicálcico α se transforma em β.

As investigações sobre a importância destes óxidos alcalinos nos cimentos começaram um pouco antes de 1940, depois da observação de graves acidentes devidos a expansões anormais em certas barragens do Colorado: Parker, Gene Wash e Copper Basin. Estas obras apresentavam expansões importantes, como fendas e deslocamentos, aparecendo à superfície um depósito gelatinoso, branco, de reacção fortemente alcalina.

Thomas Stanton (98) em 1940 descobriu que a expansão era devida a uma reacção entre os iões K^+ e Na^+ do cimento e certas formas de sílica, amorfa, dos inertes, da qual resultava a formação de gels de silicatos de sódio e potássio.

A hipótese mais correntemente aceite sobre esta reacção é devida a Hansen. (102)

Os hidróxidos alcalinos reagem com a sílica para formar silicatos alcalinos:

$$SiO_2 + 2\ OHNa \rightarrow Si\ O_3Na_2 + OH_2 .$$

Os iões destes silicatos associam-se em iões complexos que não são capazes de se difundirem através da pasta de cimento endurecido. Então esta pasta actua como uma membrana semipermeável, que permite a passagem da água e dos iões e moléculas dos hidróxidos alcalinos, mas não permite a passagem dos iões complexos dos silicatos. Nestas condições desenvolvem-se pressões osmóticas dentro do espaço onde se formaram os silicatos. Dentro dum tal espaço, limitado pela pasta de cimento, o produto da reacção não pode sair, e, como à medida que se vai formando vai ocupando um volume maior do que o original, a pressão osmótica vai crescendo até provocar a rotura da estrutura da pasta de cimento.

Esta hipótese tem sido confirmada por diferentes experiências, tendo sido medidas pressões osmóticas da ordem de 40 kg cm^{-2} em silicatos alcalinos gels, quando se usa pasta ou argamassa de cimento portland como uma membrana semipermeável. Tais pressões são da ordem, ou superiores, às tensões de rotura do betão por tracção e é então admissível que o gel possa provocar a sua expansão e fissuração. (101)

A quantidade de potássio e sódio, expressa em óxido de sódio e em percentagem do peso de cimento, que não produz acção perturbadora de nenhuma espécie é de 0,60 % (103) (soma da percentagem de ONa_2 com 0,658 da percentagem de OK_2). Este limite é indicado pela especificação federal americana para o cimento portland, SS/C/192-1946.

Há muitos processos para determinar a reactividade entre o inerte e o cimento, que nos não deteremos a descrever, por sair já fora do âmbito deste artigo.

Os métodos mais eficazes para combater esta reacção são dois: diminuição do teor de álcalis do cimento até limites inferiores a 0,60 %, o que muitas vezes não é possível fazer em virtude das exigências de tratamento das matérias-primas, e utilização de pozolanas.

Uma razão que contribuiu muito para a popularidade das pozolanas nos E. U. A. é a eficácia da sua acção no combate da reacção de que estamos tratando, a que os estadunidenses chamam «alkali-aggregate reaction».

Para compreender a acção da pozolana nesta reacção é necessário saber o que se passa quando o gel de silicato existe em equilíbrio com uma solução saturada de $(OH)_2Ca$.

O estudo mais importante deste equilíbrio foi feito por Kalousek, a que já fizemos referência,[42] a partir do qual se deduz que, efectivamente, uma solução concentrada de silicato alcalino pode existir em contacto com uma solução saturada de $(OH)_2Ca$, desde que esta contenha pelo menos 2% de ONa_2 em solução.

Quando a percentagem de sílica é muito elevada, o que acontece quando se junta pozolana ao cimento, então formam-se silicatos de cálcio e sódio, pouco ricos em sódio, que são muito pouco solúveis, e portanto têm uma baixa pressão osmótica.

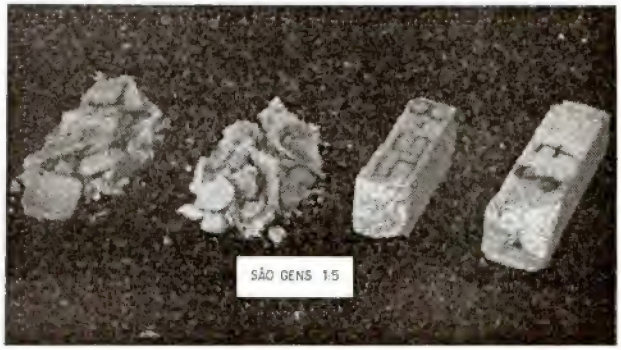
Por outro lado, quando se utiliza a pozolana no betão susceptível de ser a sede duma reacção entre o cimento e o inerte, forma-se o gel de silicato alcalino bem uniformemente distribuido por toda a massa, de modo que não há oportunidade para a formação duma massa de gel que tenha uma pressão osmótica suficiente para romper o betão.

Infelizmente não parece ser possível dar outras razões para explicar a acção eficaz da pozolana no impedimento da expansão do betão devida a esta causa, não parecendo que a linha clássica do raciocínio da diminuição da alcalinidade da solução de contacto seja de aplicação a este caso. No entanto, deve-se confessar que a explicação fornecida está longe de ser satisfatória, e um estudo mais atento deste fenómeno é altamente desejável.

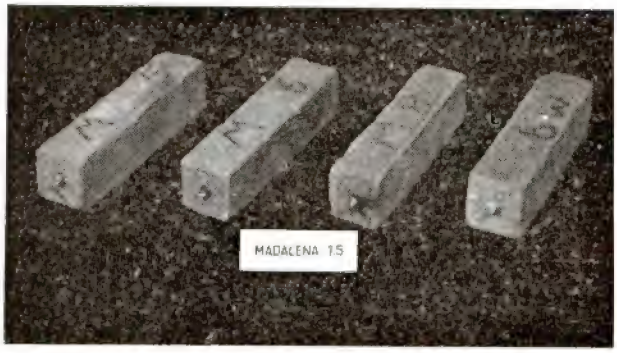
Na Europa não se conhecem reacções deste tipo, o que é devido aos cimentos conterem álcalis em quantidades inferiores às que têm os dos E. U. A., mas isso não quer dizer que elas não sejam possíveis entre nós, pois os álcalis tanto provêm das matérias-primas como dos carvões, cuja qualidade pode variar dum momento para o outro. Quando se é obrigado a usar inertes eruptivos, lávicos, é bom examinar a sua reactividade sob este ponto de vista.

88. Reacções de certas formas do feldspato com o cimento portland em presença da água do mar. — O estudo desta acção está ainda longe de ter sido objecto de qualquer trabalho sistemático, mas a partir de certos dados experimentais é possível atribuir-lhe a razão principal das causas da alteração do betão colocado na água do mar que se têm verificado no nosso país: Leixões e Viana do Castelo.

Com efeito, as análises do cimento alterado, realizadas quando da inspecção destes portos, revelaram uma presença anormalmente alta de alu-



a



b

Fig. 71 — Prismas de argamassa de brita granítica conservados em água do mar.

Traço da argamassa: 1 de cimento portland para 5 de brita com dimensões compreendidas entre 0,4 mm e 0,8 mm.

a — Prismas de argamassa confeccionada com granito com o feldspato caulinizado, mostrando os prismas de argamassa em diferentes estados de alteração (ao fim de 6 meses a 2 anos).

b — Prismas de argamassa confeccionada com granito são, mostrando os prismas de argamassa perfeitamente conservados (ao fim de 3 anos).

mina. (100) Como inicialmente os cimentos não continham uma proporção tão elevada de alumina, e como ela não podia provir da água do mar, forçoso foi admitir que seria proveniente do inerte.

Realizadas, em laboratório, experiências para confirmar esta hipótese, chegou-se à conclusão que, de facto, a presença de caulino ou de feldspato caulinizado no inerte era condição suficiente para o aparecimento de alterações que se manifestam pelo conhecido aumento de volume e pelo aparecimento de fendas à superfície do betão ou argamassa.

As experiências foram realizadas do seguinte modo:

Preparou-se, por britagem, uma areia artificial

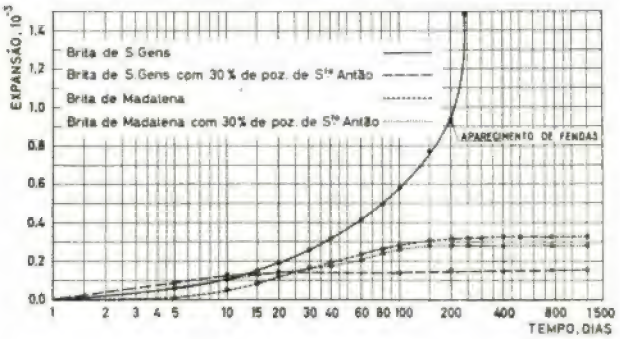
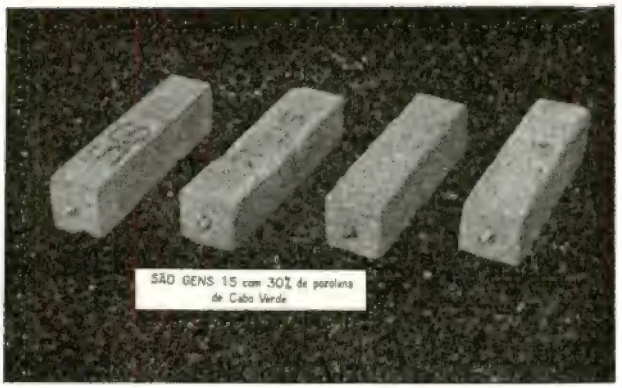


Fig. 72 — Expansões dos prismas de argamassa de 1:5, das figs. 71 e 73, conservados em água do mar.

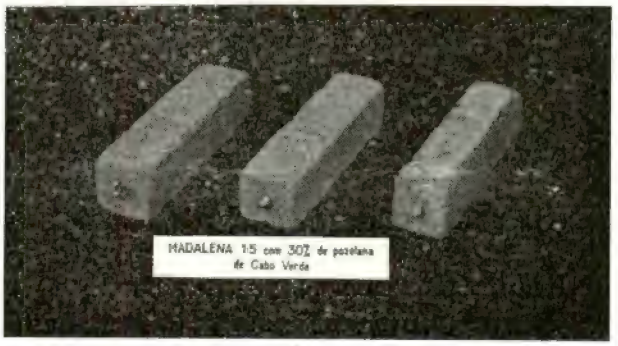
com dimensões entre 0,4 e 0,8 mm, a partir de granitos perfeitamente sãos, isto é, com o feldspato intacto (como por exemplo os granitos da pedreira da Madalena, em Vila Nova de Gaia) e com granitos cujo feldspato estava caulinizado, como por exemplo os granitos de S. Gens (uma outra pedreira próxima de Leixões), fácil de reconhecer pelo aspecto pulverulento que apresenta e pela ausência do brilho nacarado característico do feldspato.

Com estas areias confeccionaram-se argamassas com o traço de 1 de cimento, em peso, para 5 de areia, e uma quantidade de água igual ao peso de cimento. Com tais argamassas foram moldados prismas com 4×4×16 cm que foram conservados, 24 horas após a desmoldagem, dentro de água do mar, no laboratório.

Mediram-se as expansões sofridas por eles (fig. 72), e ao fim de 6 meses verificou-se que os prismas confeccionados com a areia de feldspato alterado apresentavam uma fenda longitudinal numa das faces, tendendo a destacar uma camada



a



b

Fig. 73 — Prismas de argamassa de brita granítica conservados em água do mar.

Traço da argamassa: 0,70 de cimento, para 0,30 de pozolana natural de St.º Antão, para 5 de brita com dimensões compreendidas entre 0,4 mm e 0,8 mm.

a — Prismas de argamassa confeccionada com granito com o feldspato caulinizado (ao fim de 3 anos).

b — Prismas de argamassa confeccionada com o granito são (ao fim de 3 anos).

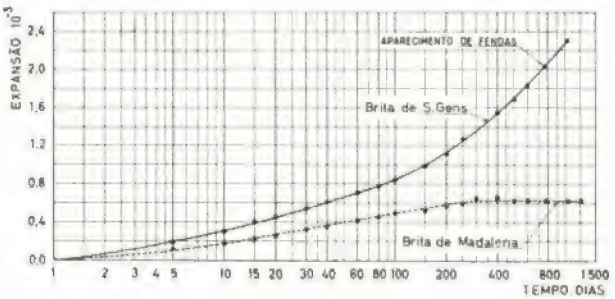
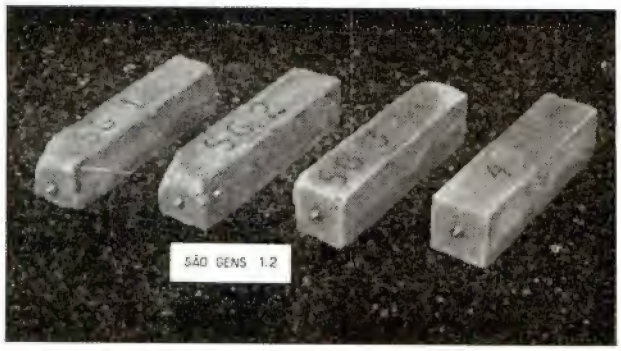
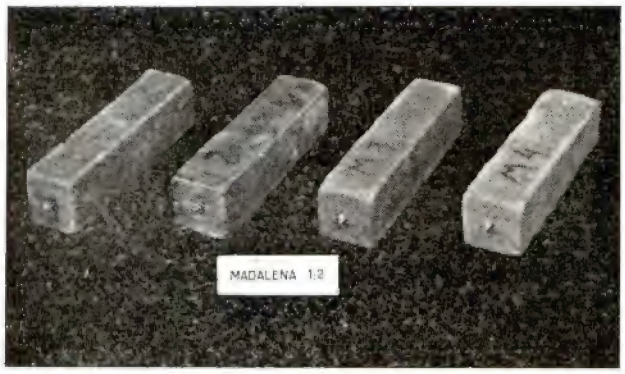


Fig. 74 — Expansões dos prismas de argamassa de 1:2, da fig. 75, conservados em água do mar.

com alguns milímetros de espessura. Entretanto verificava-se que a expansão de tais prismas era maior do que a dos outros fabricados com os granitos sãos, e, uns 4 meses depois, a desagregação destes primas era total, enquanto os confeccionados com a brita da Madalena se mantinham intactos (fig. 71 e fig. 72).



a



b

Fig. 75 — Prismas de argamassa de brita granítica conservados em água do mar.

Traço da argamassa: 1 de cimento portland para 2 de brita com dimensões compreendidas entre 0,4 e 0,8 mm.

a - Prismas de argamassa confeccionada com granito com o feldspato caulinizado, mostrando os prismas em diferentes estados de alteração (ao fim de 2 anos).

b — Prismas de argamassa confeccionada com o granito são ao fim de 3 anos.

Estas experiências, repetidas com substituição de 30 % de cimento por pozolana natural de Santo Antão, conduziram ao resultado muito nítido de que, mesmo após 3 anos de acção da água do mar, não se manifestavam quaisquer alterações nos prismas confeccionados com a brita de feldspato caulinizado (S. Gens) (fig. 72 e fig. 73).

Experiências semelhantes realizadas com o traço de 1 de cimento para 2 de areia conduziram também à obtenção de alterações com a areia preparada a partir do granito com o feldspato alterado, alterações que se manifestaram ao fim de 2 anos (fig. 74 e fig. 75). Isto prova que a compacidade da argamassa, embora retarde o aparecimento das alterações, não é uma causa decisiva na sua conservação. A argamassa contém já, no seu interior, a causa da sua destruição.

Estes resultados mostram que, dentro das alterações clássicas do cimento na água do mar, é necessário considerar mais um factor, até à data desprezado ou muito pouco considerado, que é a natureza do inerte.

A explicação deste fenómeno que, por ora pode ser dada, é a seguinte: a alumina do feldspato caulinizado, o qual, como vimos, se encontra já no estado amorfo, tendo perdido a sua individualidade cristalina pela perda dos iões K^+ e Na^+, reagirá com os sulfatos da água do mar para dar um sulfoaluminato. Como esta reacção se faz num meio saturado de $(OH)_2Ca$, o sulfoaluminato de cálcio formado é expansivo, o que origina os fenómenos descritos.

Quando a reacção se dá num meio não saturado de $(OH)_2Ca$, como acontece no caso do cimento pozolânico, a reacção não é expansiva e não há portanto alteração.

A verificação desta hipótese da formação do sulfoaluminato ainda não foi feita sistemàticamente, mas a seguinte experiência prova a legitimidade desta suposição.

Como se disse, a expansibilidade da argamassa provirá da reacção da alumina do inerte com o ião $SO_4^{=}$ da água do mar; a presença do cimento é apenas necessária para fornecer a esta reacção um pH de 12. Se então se colocar o granito com o feldspato caulinizado em contacto com uma solução de $(OH)_2Ca$ na água do mar, deve obter-se a sua decomposição. Ora a experiência prova que, efectivamente o granito com o feldspato caulinizado conservado nestas condições desagrega-se ao fim de uns 3 anos, enquanto o granito são se mantém intacto durante este tempo.

Efectivamente, num recipiente de vidro introduziram-se pedaços de brita de S. Gens e de brita da Madalena. O recipiente foi cheio com água do mar, na qual se deitou $(OH)_2Ca$ em excesso nítido, de modo a obter-se a sua saturação e foi conservada ao abrigo do ar, com o fim de evitar a sua carbonatação. Este soluto era removido frequentemente, com o intervalo de uma ou duas semanas. Ao fim de cerca de 3 anos obteve-se uma desagregação total do granito de S. Gens, enquanto o da Madalena se manteve intacto.

Actualmente estão em curso no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, experiências para o esclarecimento deste fenómeno e para o estudo das condições em que se dá a acção protectora da pozolana.

(Continua)

C. D. U. 338.9 (469) (042)

Conclusões do II Congresso dos Economistas Portugueses e do II Congresso da Indústria Portuguesa

(Continuação)

6.5 — Indústrias metalomecânicas pesadas

1 — Embora as indústrias metalomecânicas pesadas já constituam um sector muito importante e dos mais evoluídos na economia do País, a comparação com estruturas industriais estrangeiras autoriza uma previsão de rápido e vasto crescimento, exigindo acelerada preparação de pessoal a todos os níveis, aquisição de técnicas, melhoramento de equipamento, apoio financeiro, cuidada política de mercado e íntima colaboração entre as empresas do sector.

2 — Torna-se essencial acelerar a preparação de técnicos (engenheiros e economistas, bem como agentes técnicos, desenhadores, traçadores, controladores fabris, agentes de contabilidade industrial e mestrança e operários especializados). Ao nível universitário, importa modernizar o ensino e promover estágios em fábricas nacionais e, sobretudo, em organizações industriais ou centros de formação post-escolar no estrangeiro, com e sem ajuda estadual.

3 — A necessária aquisição das técnicas de concepção a execução consegue-se mediante estudos e pesquisas laboratoriais, chamando-se a atenção das empresas para a exigência crescente de Gabinetes de Estudo e Projectos. Mas também é essencial a aprendizagem com congéneres estrangeiras idóneas, devendo fomentar-se, embora com algumas cautelas, diversos regimes de colaboração industrial, neste campo.

É importante observar que os conhecimentos adquiridos têm de ser postos, também, ao serviço de outras indústrias nacionais fornecedoras de peças o subconjuntos, sob pena de não se conseguirem os resultados pretendidos e possíveis quanto á qualidade das produções finais.

4 — Atendendo às características das produções desta indústria, designadamente à importância dos equipamentos exigidos, deve actuar-se junto dos clientes (Estado, grandes empresas) no sentido de conseguir um planeamento das encomendas com antecedência suficiente. Parece muito conveniente, neste aspecto, que os industriais sejam chamados a colaborar na estruturação dos Planos de Fomento.

5 — Uma política de mercado eficaz tem de incluir ainda elementos de defesa da indústria nacional, quer respeitando as disposições legais de protecção, quer fraccionando os concursos segundo as categorias de material que mais convém às possibilidades da indústria nacional, chamando os industriais a colaborar na elaboração dos cadernos de encargos e solucionando o problema da situação de favor criada às empresas estrangeiras pelo sistema dos concursos públicos.

6 — As exigências de crédito a largo e médio prazo devem ser particularmente atendidas, por oferecerem aspectos peculiares as condições de financiamento destas indústrias. Assim, os créditos a longo prazo são, em geral, excepcionalmente vultosos; e quanto ao crédito a médio prazo tem de permitir a compra, nas ocasiões e condições mais convenientes, de matérias-primas e acessórios para ciclos produtivos que oscilam entre 18 e 36 meses, conforme o tipo de fabricações.

Tomam ainda particular relevo as necessidades de crédito à exportação, quer pela prestação de garantias bancárias junto de clientes estrangeiros, quer pelo financiamento das próprias empreitadas no exterior.

7 — Há conveniência para as empresas na sua organização e integração no sistema económico-social do País, por forma a terem relações seguidas e capazes de contribuir para a resolução dos problemas do sector, tanto do ponto de vista social ou económico como do ponto de vista téc-

nico-comercial. Refere-se — por o problema ser dos mais graves — a urgência em as indústrias montarem colectivamente um serviço especializado e muito competente de exame dos pedidos de patentes estrangeiras (apenas destinadas a impedir a produção no País), e tendo em vista efectuar as oposições que a lei faculta.

8 — Dada a influência determinante, na economia da produção da indústria metalomecânica pesada, dos preços, qualidades e variedades das matérias-primas e acessórios, impõe-se que o nosso País, nas suas relações comerciais com o estrangeiro, possa obter as matérias-primas e acessórios, que ainda não se fabricam em território português, livremente, e a preços que não ultrapassem aqueles por que ficam à indústria metalomecânica pesada dos seus países de origem. À medida que tais matérias-primas e acessórios venham a ser fabricados em Portugal, as indústrias portuguesas que as produzirem devem ser estruturadas por forma a que os respectivos preços não sejam superiores aos dos mercados europeus correntes.

6.6 — Indústria de construções e reparações navais

1 — A indústria de construções e reparações navais é de interesse vital para Portugal, por ser um País cujos territórios estão separados por grandes distâncias marítimas e por ter uma actividade de pesca muito importante, condições que impõem a posse de marinhas mercante e de pesca próprias, cuja manutenção, renovação e desenvolvimento devem ser independentes das contingências alheias.

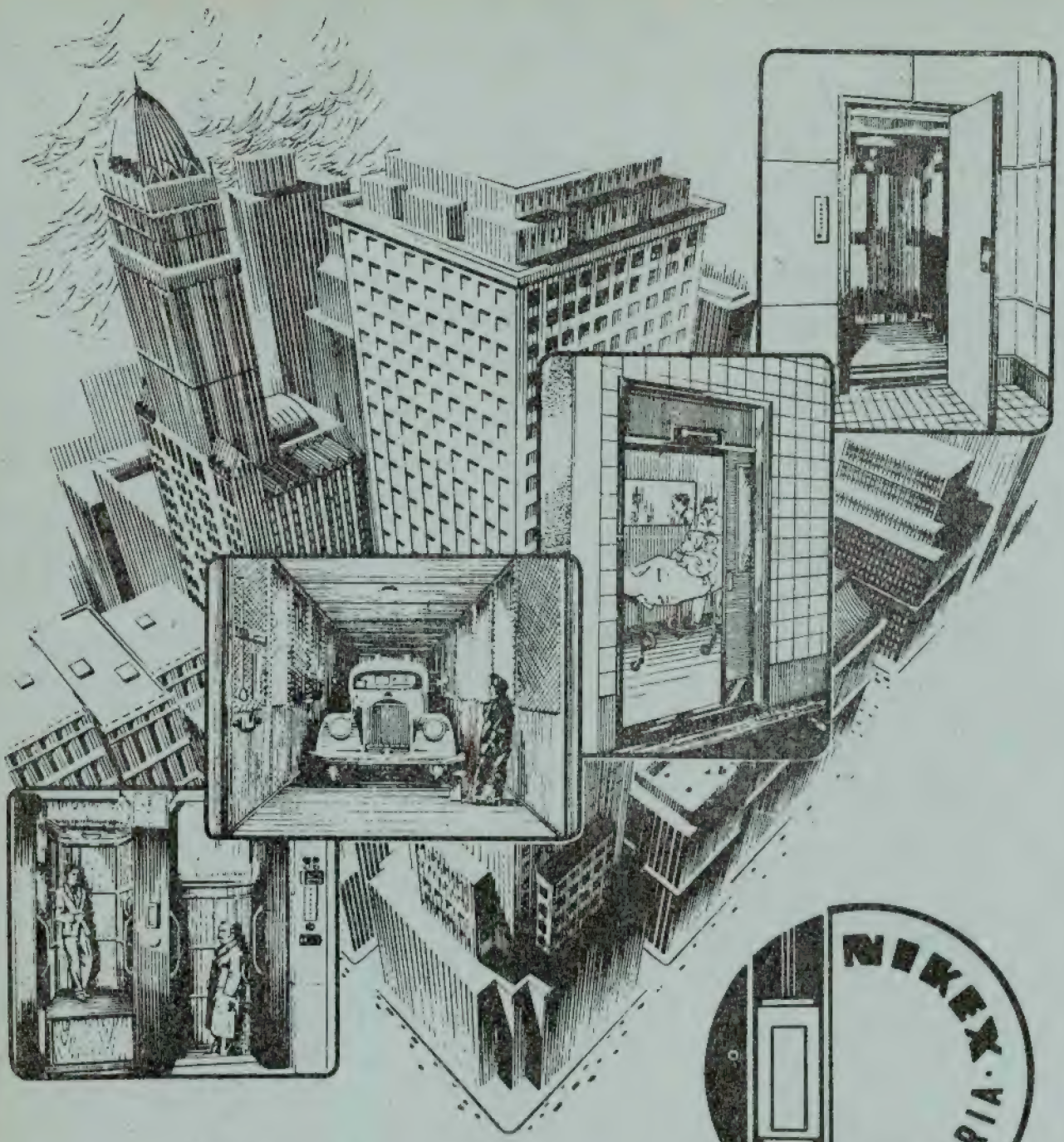
2 — Acresce que o volume de trabalho correspondente às novas construções e às reparações pode ser absorvido pelos estaleiros actuais, com excepção do que respeita às grandes unidades; e a indústria tem características que interessam ao nosso esforço de industrialização, por empregar muita mão-de-obra, ter consumo garantido no território nacional e permitir evitar a saída de grandes importâncias em moeda estrangeira.

3 — Atendendo a manifestos defeitos da actual estrutura da indústria e tendo sempre presente a necessidade de melhorar a sua produtividade, a fim de que os armadores e o País não sejam prejudicados, é preciso:

a) criar um novo estaleiro, bem apetrechado e organizado, com capacidade para construir grandes unidades — o que implicará um investimento de cerca de 1 milhão de contos (hipótese estudada, no Samouco);
b) melhorar o apetrechamento e organização dos estaleiros existentes na Metrópole;
c) construir em Angola e Moçambique docas secas ou flutuantes capazes de receberem os maiores navios das carreiras que por lá passam;
d) intensificar a instrução do pessoal técnico de todas as categorias;
e) normalizar e unificar, tanto quanto possível, os apetrechamentos de bordo;
f) promover a utilização das matérias-primas nacionais e o fabrico, em Portugal, do aço e da maior quantidade possível de máquinas e acessórios, a preços razoáveis;
g) enquanto isso não for possível para o aço, procurar fazer acordos que nos garantam o seu abastecimento em boas condições de prazos e de preços;
h) estabelecer programas regulares para a construção dos navios necessários à renovação e expansão das frotas;
i) fazer investigação científica dos problemas técnicos que interessam à indústria, dando especial atenção àqueles que nos respeitam particularmente.

4 — As medidas propostas na conclusão anterior assumem particular acuidade se Portugal aderir à Zona de Comércio Livre, pois se o ramo de reparações de navios nacionais sempre teria condições de subsistência, exigem-se progressos muito sensíveis no sentido da baixa dos custos se se pretenderem reparações para o mercado estrangeiro e construções, tanto para armadores estrangeiros como nacionais.

5 — A fim de dar tempo à indústria naval para se reequipar, reorganizar, formar os seus técnicos e operários, adquirir a necessária experiência e ainda para construir e pôr a funcionar eficientemente o novo estaleiro, será necessário um período provisório de cerca de quinze anos, em que as protecções de que agora dispomos seriam



NIKEX · HUNGARIA

ELEVADORES

Para 3 a 20 pessoas. Comando eléctrico

Vários tipos de construção para prédios, hospitais e outras insitituições

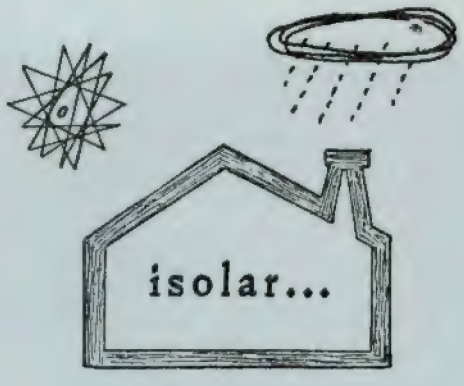
MONTA-CARGAS

Capacidade de 100 a 4000 kg, também com manobra de serviço

Exportados por: **NIKEX** — Soc. Húngara para o Comércio Externo da Indústria Pesada

Budapeste 4 — C. P. 103 — Hungria

Telegramas: NIKEXPORT BUDAPESTE



...do calor,
frio,
ruido,
...problema resolvido:

VITROFIB

INFORMAÇÕES TÉCNICAS E COMERCIAIS

NACIONAL FIBRAS DE VIDRO, L.DA

R. Braamcamp, 15, 2.º-D. Tel: 59150 - 59124

LISBOA

Oficina e Laboratórios

do

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDES, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO de ELECTROTECNICA, fornecem todo o género de material escolar de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA-ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público.

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAMENTOS

gradualmente reduzidas até se anularem, quando estivéssemos em condições de viver normalmente dentro da Zona do Comércio Livre. Para fomentar desde já a indústria torna-se necessário rever a legislação de protecção existente e conceder prémios de construção.

6 — Deve criar-se o Grémio dos construtores e reparadores navais, para coordenar as actividades da indústria e defender os seus interesses.

6.7 — Indústrias metalomecânicas ligeiras

1 — As indústrias metalomecânicas ligeiras ocupam elevadíssimo número de pessoas e contribuem largamente para a produção nacional, embora as importações representem ainda parcela extremamente pesada; abrem-se por estes factos, a par do desenvolvimento de novos consumos por via do progresso económico nacional, largas perspectivas ao sector, o que muito importa para a resolução de um dos problemas mais graves da nossa economia — dar ocupação aos excedentes de mão-de-obra actuais e vindouros.

2 — Impõe-se a reorganização destas indústrias, pois é demasiadamente reduzida a dimensão média das fábricas, existe em certa medida superequipamento e não estão estabelecidas ou não são obrigatórias normas de qualidade para muitos dos artigos produzidos. Um importante aspecto a ter em conta tanto ao tratar-se da reorganização como depois de ela operada é o da concessão de licenças de estabelecimento de actividades das metalomecânicas ligeiras no Ultramar.

3 — Na defesa da indústria contra a concorrência estrangeira há que atender a diversos aspectos, aos quais devem dirigir-se medidas também diferenciadas. Assim:

a) a revisão de pautas aduaneiras deveria ter em conta o grau de maior ou menor dificuldade que, no campo comercial, se oferece à penetração de artigos nacionais em concorrência com os de importação;
b) precisa-se de defesa absoluta contra a concorrência estrangeira desleal, mediante a criação de taxas especiais de entrada, a contingentação ou a proibição de importações, quer na Metrópole quer no Ultramar;
c) precisa-se de amparo às actividades que produzem artigos de receptividade assegurada, por meio de agravamento de pautas aduaneiras e de contingentação de importações, em relação a todos os territórios do Império.
d) há que conferir maior maleabilidade ao sistema de revisão pautal;
e) deve reforçar-se e generalizar-se o acatamento devido à resolução do Conselho Económico de Outubro de 1953;
f) considera-se altamente desejável a colaboração dos industriais na feitura dos cadernos de encargos, com vista à fixação de normas e de características que garantam ao sector de metalomecânicas ligeiras a máxima participação no fornecimento de artigos das suas especialidades.

4 — Na eventualidade da adesão de Portugal a uma Zona de Comércio Livre é indispensável impulsionar fortemente todas as medidas de reorganização e algumas das de defesa destas indústrias, sob pena de levar ao aniquilamento da maioria das actividades do sector.

6.8 — Indústrias de material eléctrico

1 — Reorganizar a produção, especializando-a e concentrando-a por produtos, e a partir das empresas que dispõem de condições técnicas e de equipamento capazes para os produzirem.

2 — Aumentar a produtividade dos investimentos, evitando aplicações improdutivas e duplicações, através de uma política de condicionamento com maior eficiência e sentido de adaptação às necessidades económicas reais.

3 — Normalizar os artigos e estabelecer a respectiva marca de conformidade com as normas, tornando a normalização e a marca obrigatórias para os produtos nacionais e importados. Neste sentido deve criar-se um laboratório oficial convenientemente apetrechado para investigação e controlo, ou desenvolver o actual Laboratório Central Electrotécnico e utilizar, por acordo, os laboratórios já existentes nas indústrias, evitando duplicações de investimentos.

4 — Fomentar o aumento da produtividade da mão-de-obra, criando-se um Centro Nacional de

Produtividade cuja função seria aconselhar a indústria a organizar racionalmente o trabalho; fomentar a expansão dos sistemas de salários com prémios e o da participação do pessoal nos lucros das empresas.

5 — Proteger efectivamente a produção nacional, através da protecção pautal ou por outra qualquer forma, de modo que o preço de venda das importações não possa descer abaixo do preço corrente nos próprios países exportadores, aumentado de uma margem que progressivamente poderia anular-se, mas coordenando as protecções aos produtos acabados com as que forem estabelecidas para as matérias-primas.

6 — Anular as protecções pautais sobre materiais não fabricados no País (Metrópole e Ultramar) e reduzir aquelas que são excessivas.

7 — Dar efectividade às Normas de Preferência à Indústria e à Mão-de-Obra Nacionais, estabelecendo uma margem preferencial sobre o produto estrangeiro despachado, desde que o produto nacional satisfaça ao fim em vista e quando uma entidade independente assegure que o material é de boa qualidade. Deve criar-se uma taxa a aplicar sobre o material de origem estrangeira em certos casos (referiram-se elevadores e reclamos luminosos).

8 — Coordenar o Plano de Fomento, e outras medidas que tendam a desenvolver um qualquer mercado com a produção industrial nacional, de forma a assegurar que o máximo de investimentos a dispender fique na Nação,

9 — Suprimir as dificuldades à exportação, e dar auxílios efectivos àquela que for possível realizar-se, sobretudo se se previr que possa constituir uma fonte com certa estabilidade.

10 — Além das medidas de fomento do ensino, propostas nas Conclusões Gerais, sugere-se que se estude a possibilidade de coordenar as necessidades do ensino técnico com as possibilidades deste ensino ser, na prática, realizado nas próprias fábricas que se encontram bem organizadas e apetrechadas, eventualmente cedendo o Estado a estas fábricas equipamento que poderia ser aproveitado na produção.

11 — Tornar obrigatória a apresentacão anual, para cada indústria reorganizada, de um programa de expansão dos seus fabricos a médio prazo, o qual, depois de devidamente examinado pela administração, seria licenciado, se fosse considerado de aceitar.

12 — Não permitir o estabelecimento de novas unidades de produção de artigos já fabricados ou incluídos nos programas de expansão referidos no número anterior, a menos que se prove que as unidades existentes não têm capacidade de produção ou não acompanharam os progressos técnicos; e definir claramente os artigos que se devem considerar isentos da disciplina do condicionamento, em especial no respeitante à aparelhagem industrial de protecção e manobra;

13 — Reformar o sistema de funcionamento do Supremo Tribunal Administrativo pelo que respeita à sua constituição para julgamento de pleitos industriais, propondo-se que este Tribunal seja composto por Técnicos assistidos por Juízes de Direito.

14 — Rever as tarifas, estabelecendo o regime de escalões em todo o País, a baixo preço, de forma a fomentar o consumo de energia eléctrica em substituição de outras formas de energia, desde que se revele ser esse consumo mais vantajoso para a economia nacional. Rever as tarifas de energia eléctrica para aplicações industriais, uniformizando-as, especialmente pelo que respeita ao preço do consumo das horas de ponta em certas regiões do País.

15 — Desenvolver e organizar um serviço estatístico, que sirva de facto a indústria e não constitua simples sobrecarga de preenchimento de papéis e alinhamento de números mais ou menos inúteis.

(Continua)

Fornece para todos os mercados mundiais:

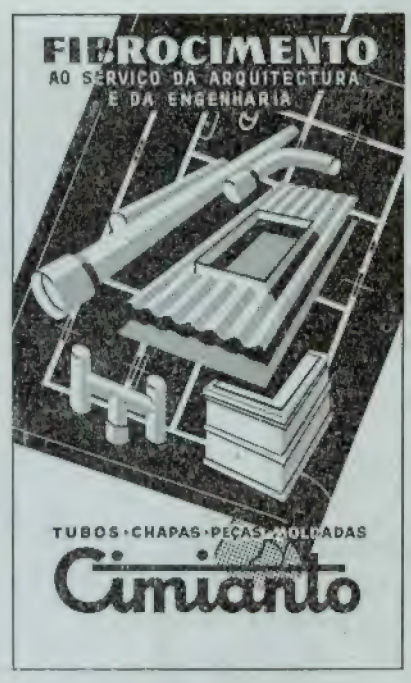
Máquinas e instalações mineiras
Máquinas e instalações de sondagens
Máquinas de fundição
Instalações de transporte e transbordo
Equipamento de soldagem
Máquinas e instalações siderúrgicas, metalúrgicas, etc.

Recomendamos especialmente as nossas máquinas de extracção de carvão, escavadoras — carregadoras combinadas, escavadoras, transportadores, martelos perfuradores e brocas, martelos pneumáticos, carregadores, ventiladores, instalações de sondagem por batedura ou rotação, bem como ferramentas para sondagens, trépanos, coroas de extracção de terra, etc.

As nossas misturadoras para a preparação de areia de moldagem, os moinhos de bolas para areia e as máquinas pneumáticas para moldar à pressão são de construção simples e fáceis de manejar.

Recomendamos ainda as nossas gruas automotoras e em camiões, pontes rolantes e de transbordo, talhas, geradoras de acetilene a alta pressão, distensores com manómetros, maçaricos-soldadores-talhadores, assim como as nossas instalações e equipamento para altos fornos, fábricas de aço, fundições, divisões de aglomeração, laminadores, etc., construções em ferro e reservatórios de petróleo muito conhecidos pelas suas excelentes qualidades.

A Centrozap empreende ainda todos os géneros de trabalhos de sondagem, extracção de massas de terra e exploração petrolífera ou mineral e construção de poços de água.



SOCIEDADE TÉCNICA DE HIDRÁULICA

S. A. R. L.

Sede: **Avenida Fontes Pereira de Melo, 14**

Telefone 73 11 61 (4 linhas)

Fábrica: **Cortes da Quintinha**

Telefones: 05 01 41 e 05 00 62

ALHANDRA

Tubos — Chapas — Reservatórios
Floreiras — Autoclismos — Colmeias

Outras peças moldadas

Agentes e Revendedores para todo o País

Acaba de aparecer

Manual de Hidráulica Geral

SÍNTESE TEÓRICA

TABELAS E ÁBACOS

FORMULÁRIO POLIGLOTA

Pelo Eng.º Armando Lencastre

Chefe da Secção de Hidráulica Fluvial do L. N. E. C.
Assistente do I. S. T.

Pedidos à "TÉCNICA"

Preço 150$00
Desconto 10 % aos assinantes

BIBLIOTECA
FICHEIRO

Classificadores responsáveis:

José Fernando Pinharanda, Carlos Ramalho Carlos, Alberto Esteves Guerra, Arménio de Oliveira Faria, e Belarmino Silveira

---

Recortar as indicações bibliográficas que formam uma ficha e estão encimadas por CDU (Classificação Decimal Universal).

Colar cada referência num pequeno rectângulo de cartolina de 75 × 125 mm.

Ordenar pelos índices decimais, *começando da esquerda para a direita*, independentemente do número de algarismos que o índice contiver, e respeitando a seguinte regra de arrumação dos sinais auxiliares:

+ / n.os simples : [ ] = (01/09) (1/9) (=) " "A/Z — .0 .00

Consultar, em casos duvidosos, a exemplificação inserida na «Técnica» n.º 218 e seguintes, ou recorrer Biblioteca da A. E. I. S. T.

Notar que a inserção das fichas nesta publicação respeita a ordem correcta, no intuito de a esclarecer o mais possível.

A comodidade de possuir no próprio local de trabalho um arquivo ordenado e de fácil consulta sobre assuntos que se sabe onde existem, é uma das evidentes vantagens de um ficheiro classificado segundo a CDU

Os assuntos de que estas fichas são referência ficam patentes à consulta a partir desta data.

LIVROS

C. D. U.

Estacas para fundações — *Eng.º Fernando Vasco Costa.*

2.ª edição, brasileira, duma separata da «Técnica».

Depois de algumas generalidades sobre estacas, o autor descreve em pormenor as de madeira, de betão, as metálicas e as de areia. Aponta as vantagens e inconvenientes de cada um dos tipos. Este capítulo, como aliás acontece em todos os outros, é ilustrado com desenhos e fotografias muito ilucidativos.

Ao mesmo tempo dão-se conselhos de ordem prática — ditados por uma longa experiência no assunto — referindo-se o Sr. Engenheiro Vasco Costa a exemplos reais justificativos das suas afirmações.

No capítulo «Processos empregados para afundar no terreno as estacas e os seus moldes», apresentam-se os vários tipos de bate-estacas, desde o manual ao diesel; descreve-se o afundamento por injecção de água, etc.

Um dos passos mais interessantes deste livro, é o que trata das funções que as estacas podem desempenhar. Nomeadamente faz-se referência, a estacas carregadas de ponta, a estacas flutuantes, às que trabalham à tracção, e outras.

Em seguida temos um capítulo de cálculo.

Apresentam-se aqui várias definições; fala-se do encurtamento e flambagem, descrevem-se ensaios, e finalmente apresentam-se as fórmulas de cravação, coeficientes de segurança, modificações para estacas inclinadas, fórmulas estáticas, e processos de efectuar ensaios de carga e sua interpretação. Trata-se ainda do assunto referente a um grupo de estacas.

O último problema desenvolvido, é de grande interesse. Embora o autor reconheça a impossibilidade de escolher a priori de terminado tipo de fundação, ele dá-nos algumas normas para orientação nessa escolha — já é uma grande ajuda —;

Como aditamento encontramos um vocabulário de termos técnicos de mecânica dos solos, inglês-português e português-inglês.

Óptimo aspecto gráfico e numerosa bibliografia.

C. D. U. 621.397

Closed-Circuit and Industrial Television — *Edward M. Noll.*

Macmillan, 1955, vol. 1, pág. 230.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 330.19

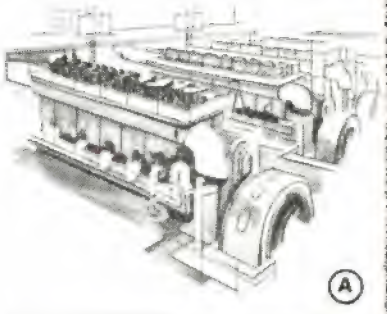
Da Concentração Industrial — *Eugénio Terra da Motta.*

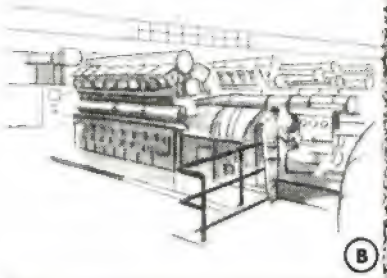
Revista do Sindicato Nacional dos Engenheiros Auxiliares, Agentes técnicos de Engenharia e Condutores, 10 12-957, vol. 12, n.º 4, pág. 1-3.

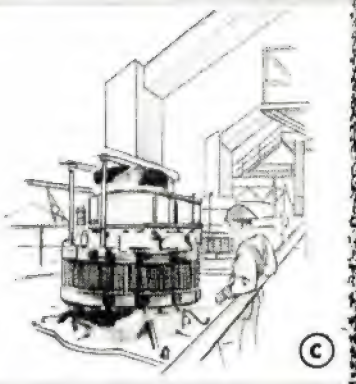
C. D. U. 331.822.823

Acidentes no trabalho — *Edmar Vitor.*

Revista do Sindicato Nacional dos Engenheiros Auxiliares, Agentes técnicos e Condutores, 10-12-957, vol. 12, n.º 4, pág. 4-9.







Desde 1886...

a NORDBERG

tem dado colaboração à Indústria fornecendo-lhe a sua MAQUINARIA de DESENHO, FABRICO e RENDIMENTO de ALTA QUALIDADE

Ⓐ – Os motores Nordberg a 2 tempos Diesel, Dualfuel ® e a Gás Natural, de potências que vão até mais de 11,000 H. P., são utilizados no Mundo inteiro para o fornecimento de luz e energia com fins industriais, marítimos e municipais.

Ⓑ – Os motores Nordberg a 4 tempos Diesel, Dualfuel e Gás Natural de potências até 4.500 H. P. fornecem à confiança energia por baixo preço, transfega de oleodutos, em serviços industriais e numa vasta série de aplicações marítimas.

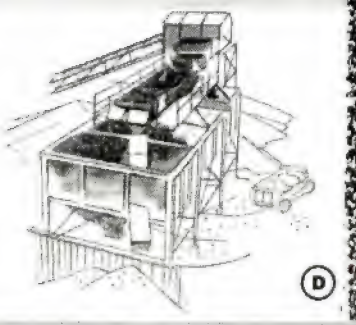
Ⓒ – As Britadeiras Symons, Cónicas e Giratórias, são as melhores para britagem a baixo preço, de grandes volumes de minérios, minerais e produtos rochosos.

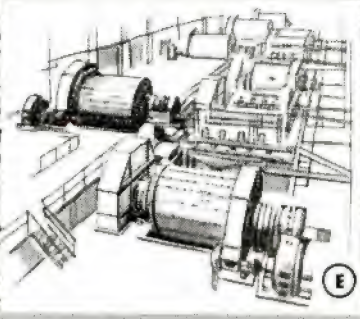
Ⓓ – As Separadoras e Peneiras vibrateis Symons oferecem aturado serviço de alta capacidade em todos os tipos de operações de separação, desde a mais larga à mais fina crivagem necessária nas indústrias mineiras, das pedreiras e na construção civil.

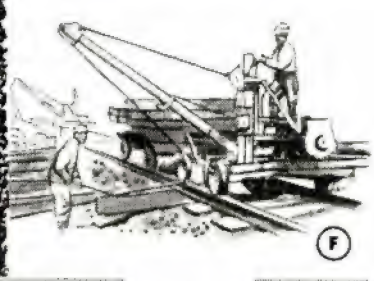
Ⓔ – As Trituradoras Nordberg e outra maquinaria do mesmo género, fazem serviço económico e de alta capacidade nas indústrias mineiras e similares de cimento e produtos químicos do Mundo inteiro.

Ⓕ – O equipamento ferroviário Nordberg é usado nas linhas férreas mundiais, graças a uma melhor conservação dos railes, chulipas e porcas, reduzindo-se assim as despesas por quilómetro percorrido.

Atendemos com muito gosto os pedidos de informação, dando-nos a oportunidade de lhes mostrar como a Maquinaria Nordberg *poderá trazer-lhes, como a tantos outros, inludíveis vantagens.*







NORDBERG MFG. CO., Milwaukee, Wisconsin, U. S. A. • Endereço Telegráfico: NORDBERG

LONDRES: 19 Curzon St., W. 1
JOHANNESBURG: 42 Marshall St.
MEXICO: D. F.: Dolores 3

NORDBERG PELO MUNDO INTEIRO

Representada nas principais áreas comerciais do Mundo

XAP158

SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES AMADEU GAUDENCIO

CONSTRUÇÕES CIVIS ✦ BETÃO ARMADO

CARPINTARIA MECÂNICA ✦ TRABALHOS DE PINTURA

Telefones: PPCA 4 31 91 – 4 31 92 – 5 90 00 End. teleg.: CONSTRUÇÃO

Depósito de Materiais

ESTRADA DE MOSCAVIDE, 17 — LISBOA

Telef. 38 90 72

C. D. U. 331.826 : 78.0

Novidades sobre a música funcional — *J. Mechin.*

Revista do Sindicato Nacional dos Engenheiros Auxiliares, Agentes técnicos de Engenharia e Condutores, 10-12-957, vol. 12, n.º 4, pág. 15-21.

C. D. U. 526.6 (084.21)

Gráficos para determinar las coordenades locales del sol en cualquier lugar de la Tierra — *Luiz Aizpiri.*

Informes de la Construcción, 2-958, n.º 98.

C. D. U. 531.2 (532.596)

Étude expérimentale de l'influence de la force de Coriolis sur la propagation de la marée dans la Manche — *R. Bonnefille.*

La Houille Blanche, 1957, n.º B, pág. 667-673.

C. D. U. 532.595 : 627.83

Procedé de calcul graphique des chaminées d'equilibre — *V. Conte.*

La Houille Blanche, 1957, n.º B, pág. 627-632.

C. D. U. 532.596

La propagation des ondes de marée — *Vantroys.*

La Houille Blanche, 1957, n.º B, pág. 640-649.

C. D. U. 533.6.01 : 629.138

El satelite artificial, El proyecto norteamericano «Vanguard» — *Balta Elias.*

Revista de Obras Públicas, 12-957, n.º 2912, pág. 646-655.

C. D. U. 539.413 : 624.072.2—012.4

Rigidité à la flexion des pontres en beton armé. Théorie et essais — *Karl Jager.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º B, pág. 17-20.

Artigo traduzido de Osterreichische Bauzeitschrift, Set., 1956

C. D. U. 557.35.054.2

Effets misibles de la houle et de la marée — *D. Laval.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 807-822.

C. D. U. 62 : 550.8

Aplicacion de la Geologia al estudio de un presupuesto para la construccion de una carreta — *Frederico Macau Vilar.*

Revista de Obras Públicas, 1-958, n.º 2913, pág. 1-15.

C. D. U. 620.176 : 624.075

Essai de poinçonnement sur un grupe de petits pieux (picots) — *R. L'Herminier.*

Annales de I. T. B et Traveaux Publico, 12-957, vol. 10, n.º 120, pág. 1359.

C. D. U. 620.93 [532.593]

Energie mécanique de la houle : Etat dans la nature — *H. Lacombe.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 731-745.

C. D. U. 620.93 [532.596]

Energie mécanique de la marée : état dans la nature — *A. Gougenheim.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 746-753.

C. D. U. 620.93.001.57 [532.596]

Énergie mécanique de la marée : essais sur modéles — *L. Vantroys.*

La Houille Blanche, 11-957, pág. 765-777.

C. D. U. 620.93.001.57 [532.593]

Énergie mécanique de la houle : essais sur modéles — *M. Gridel.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 756-764.

C. D. U. 620.93.004.1 [532.596]

Énergie mécanique de la marée : utilisation — *A. de Rouville.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 784-806.

C. D. U. 620.93.004.1 [532.593]

Énergie mécanique de la houle : utilisation — *M. Gariel.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 778-783.

C. D. U. 620 93 [536.1]

Utilisation de l'énergie thermique des mers. Observations sur les metériels utilisés. Conclusions génerales — *C. Beau.*

La Houille Blanche, 11-957, n.º 5, pág. 823-834.

C. D. U. 621.316.364

Sheet-steel clad Distribution Boards — *L. Hammar.*

ASEA Journal, 1957, vol. 30, n.ºs 8 e 9, pág. 118 a 123.

C. D. U. 621.316.364

Tableux blindés en Tôle — *L. Hammar.*

ASEA, Revue, 1957, n.º 6, pág. 119 a 124.

C. D. U. 621.385

Teoria e prática dos amplificadores magnéticos — *M. B. Chague.*

Revista do Sindicato Nacional dos Engenheiros Auxiliares, Agentes técnicos de Engenharia e Condutores, 10-12-957, vol. 12, n.º 4, pág. 22-33.

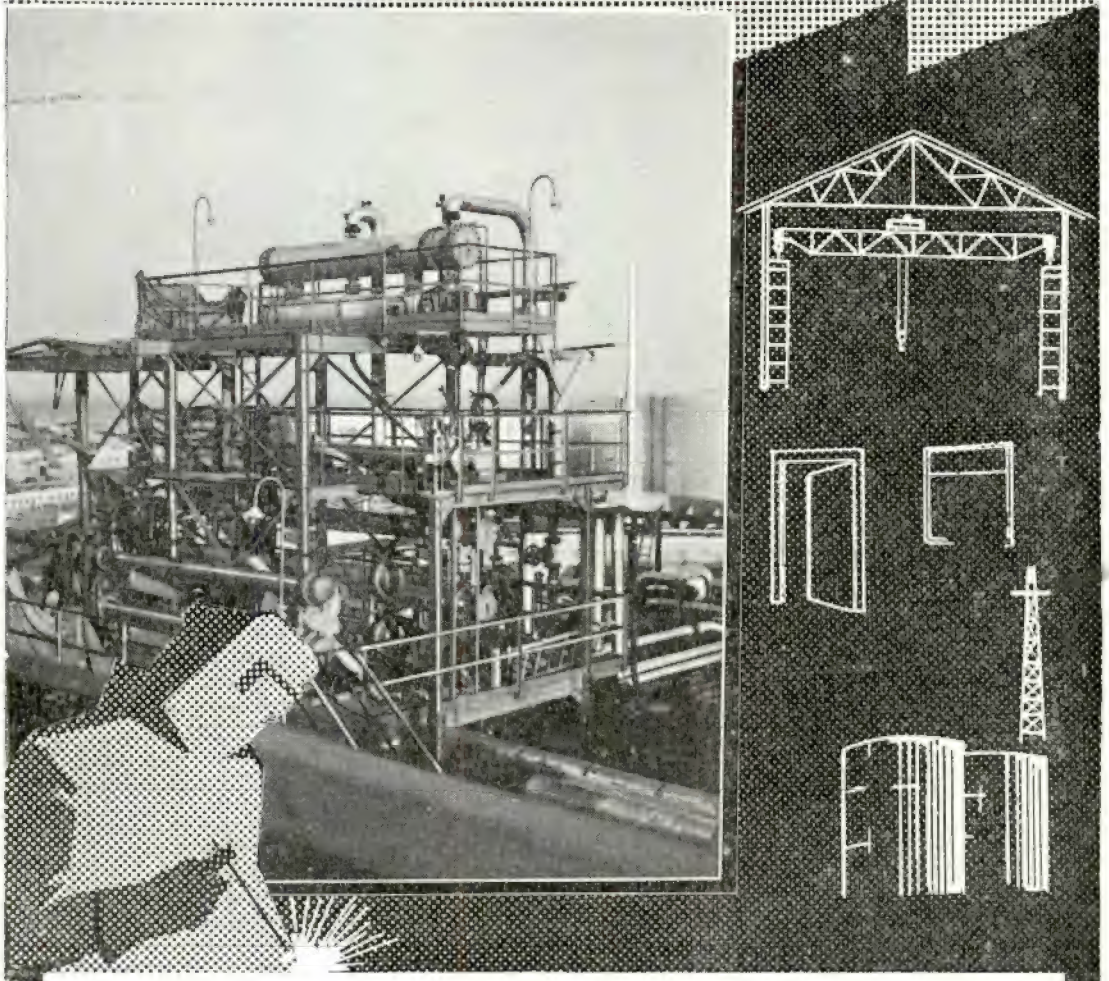
C. D. U. 621.48 : 330

Generation de energia nucleo-eléctrica — *Otto Gamba.*

Ciência e Técnica, 10-957, vol. 124, n.º 623, pág. 135-145.

FÁBRICA METALURGICA E CONSTRUTORA

CARAVELA, L.DA



CONSTRUÇÃO E SERRALHARIA CIVIL • ESTRUTURAS METÁLICAS
PONTES E POSTES METÁLICOS • CAIXILHARIA E PORTÕES
PONTES ROLANTES • SERRALHARIA ARTÍSTICA • CALDEIRARIA
SOLDADURA ELÉCTRICA • GALVANOPLASTIA • RADIADORES

CARAVELA L.DA

AV. INFANTE D. HENRIQUE — TALHÃO 10

TELEFONES 399008 — 399480

CABO RUIVO — LISBOA PORTUGAL

C. D. U. 621.635 : 621.039.4

Soufflantes pour l'extraction de la chaleur d'un réactor atomique — *M. Eberle*

Bulletin Oerlikon, 6-957, n.º 322, pág. 42 a 44.

C. D. U. 621.646.4

High pressure valves for high temperature duty — *Richard A. Handschumacher.*

Combustion, 2-958, vol. 29, n.º 8, pág. 49-53.

C. D. U. 621.649 : 669.79

Pomps à metaux liquides — *C. Hernant.*

La Houille Blanche, 1-2-957, n.º 1, pág. 88-103.

21 referências bibliográficas.

C. D. U. 621.742

Control de las arenas de moldes — *José Maria Palácios Repáraz.*

Dyna, 11-957, vol. 32, n.º 11, pág. 669-699.

C. D. U. 621.78 : 669.34

Comportement du nickel aux températures élevés traitements thérmiques et mécaniques.

Metallurgia, Jan., Fev. e Março, 1957, vol. 23, n.º 1, pág. 18-25.

C. D. U. 621.791.736-523.8

Equipements électroniques pour machines à souder par résistance — *Infanger, K. et H. Meyer.*

Rev. Boveri, 1957, t. 44, n.º 9, pág. 389 a 395.

11 figuras, 2 tabelas, 4 referências bibliográficas.

C. D. U. 621.798.2 : 621.389

The packaging of electronis equipmet — *S. C. Schuler.*

The institution of electrical engineers, 2-958, vol. 4, n.º 38, pág. 79 a 81.

C. D. U. 621.791.75.004

Recharge de cylindres de laminoirs par soudage automatique — *R. Sadoine.*

Arcos, 1954, n.º 137, pág. 3573-3584.

C. D. U. 621.791.753.9

Un nouveau procédé de soudage automatique sous atmosphère protectrice d'anhydride carbonique — *F. Danhier.*

Arcos, 1957, ano 34, n.º 137, pág. 3555-3567.

C. D. U. 621.791.753.4.004

Soudages au moyen d'electrodes basiques de gros diametre — *Fr. Rhim.*

Arcos, 1957, n.º 137, pág. 3569-3572.

C. D. U. 621.869.6 : 621.3.025.3 : 629.12

Máquinillas de carga en barcos de corrente trifásica — *Edgar Kaut.*

La AEG al día, 1957, n.º 1, pág. 8 a 10.

C. D. U. 621.877

Telefericos en el Mont-Blanc — *Vittorio Zignoli.*

Informes de la Construcción, 2-958, n.º 98.

C. D. U. 621.933.004.1

Pára-raios Autovalve — *A. M. Opsahl* e *N. K. Osmundsen.*

O Engenheiro — Whestinghouse, Fev.-Maio, 1958, n.º 1, pág. 24-28.

C. D. U. 622.66—83

Régulateur de marche et pupitre de manœuvre pour machines d'extraction à courant continu équipées d'une poulie Kœpe — *Ringer, H.*

Rev. Brown Boveri, 1957, n.º 9, pág. 381-388.

10 figuras e 2 referências bibliográficas.

C. D. U. 622.673.1—83

A 4.500-Hp. electric winder at Mosley Common Colliery — *P. H. Harvey.*

The metropolitan-vickers, «Gazette», 2-957, vol. 28, n.º 460, pág. 251 a 254.

C. D. U. 624.012.404

Método para el cálculo a la rotura de priezas de hormigon sometidas a flexion simple — *Alfredo Poly Balaca.*

Ciência e Técnica, 10-957, vol. 124, n.º 623, pág. 101-127,

Artigo apresentado no «Congresso Europeu de Betão Armado».

C. D. U. 624.012.47

Expériences de relaxation des contraintes dans le béton précontraint — *G. Dawance* et *A. Chagneau.*

Annales de I. T. B. et Traveaux Publico, 12-957, vol. 10, n.º 120, pág. 1343.

C. D. U. 624.012.47 : 626.82

Canales prefabricados en hormigón pretensado — *Manuel de la Torre.*

Cemento-Hormigón, 1-958, vol. 24, n.º 286, pág. 25-31.

C. D. U. 624.016.25 : 669.14

L'acier a haute limite elástique en construction soudée — *Guerin.*

Annales de l'Inst. Tec. Bat. et T. Publ., 10-957, n.º 118, pág. 935-962.

11 referências bibliográficas e 23 figuras.

C. D. U. 624.024—072.21

Acerca de coberturas em consola de grande vão — *Rui Gomes.*

Arquitectura, 12-957, n.º 61, pág. 45-50.

Transcrição de parte do estudo de cobertura das bancadas do Estádio do S. C. P.

Lusinstal

EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, LDA.

Fabricante, Armazenista, Importador e Exportador de material eléctrico

ESPECIALIZADOS EM:

Armaduras para iluminação fluorescente e incandescente para todos os fins

Quadros eléctricos de todos os tipos

Material estanque

Condutores eléctricos de alta e baixa tensão

RUA DE SANTA BÁRBARA, 81, 1.º C

Telef. **PPCA 73 21 52** (5 linhas)

End. telegráfico — **LUSINSTAL**

LISBOA

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

●

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA

LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649

PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62-4.º D. · LISBOA · TELEF. 53873

C. D. U. 624.025.3

Tratamento contra o desgaste dos pisos de betonilha — *R. Gomes.*

Circulares de Informação Técnica — LNEC, 11-956, série L-8, n.º 21, pág. 2-4.

C. D. U. 624.026—012.4

Escaliers hélicoëdaux en béton armé — *R. Bergman.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 11.

C. D. U. 624.058—012.4

Essais sur pontrelles en beton armé — *T. Renzulli.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 19.

C. D. U. 624.058.2—012.4

Analyse de secteurs pour revêtements en béton soumis à des contraintes de charges — *F. Friberg.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 23.

C. D. U. 624.059.25—012.4

Reconstruction du pont sur la Sieq prés de Dreistiepenhach (Alemagne) — *C. A. Schmidt.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 41.

C. D. U. 624.07—012.47

Ayer y hoy del hormigon pretensado — *Paêz.*

Informes de la Construcion, 12-957, n.º 96.

C. D. U. 624.072.4 : 539.413

Rigidité à la fléxion des poutres en beton armée. Théorie et essais — *Karl Jager.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º 8, pág. 17-20.

Artigo traduzido de Osterreichische Banzeitschriff, Setembro, 1956.

C. D. U. 624.072.328

Quelques fórmules pratiques pour le calcul statique des poutres Langer — *V. Barta.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º 8, pág. 12-14.

Artigo traduzido dum manuscrito do Institut Scientifique du Bâtiment, Budapeste.

C. D. U. 624.074.2

Coupoles de révolution soumises à des forces concentrées — *Zanaboni.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º 8, pág. 4-11.

Artigo traduzido de «Giornale del Genio Civile», Junho, 1956.

C. D. U. 624.075

Flambage d'un cylindre à paroi mince placé dans une enveloppe rigide et soumis à une pression exterieure — *Borot.*

La Houille Blanche, 12-957, n.º 6, pág. 881-887.

C. D. U. 624.075—012.4 : 624.151

Semelles continues avec charges excentrées — *A. Cakiroglu.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 3.

C. D. U. 624.131.3

Determinações das propriedades do subsolo: métodos de ensaio e aparelhos de medida.

Relatório de Portugal no IX Congresso da Associação Internacional Permanente dos Congressos da Estrada, 1951.

C. D. U. 624.131.343

Le forage d'un puits dans un sol cohérent — *Miloslara Klement.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º 8, pág. 29-35.

Artigo traduzido de «Inzenyrske Stavby». n.º 3, 1957.

C. D. U. 624.131.537

Les contraintes virtuelles et la surface de moindre résistance au glissement a l'interieur d'un massif — *H. Marcus.*

Annales do I T B et Travaux Publics, 12-957, vol. 10, n.º 120, pág. 1383.

C. D. U. 624.138 : 625.731

Estabilização do solo com vista à sua utilização nas fundações e nos revestimentos das estradas.

Relatório de Portugal no IX Congresso da Associação Internacional Permanente dos Congressos de Estrada, 1951.

C. D. U. 624.138.51 + 625.84

Criterios actuales y tendenciros en los projectos y construcciones de los pavimentos de hormigon y suelocemenio — *Garcia Balado.*

Cemento Portland, 12-957, n.º 45, pág. 5-15.

Várias fotografias e 8 referências bibliográficas.

C. D. U. 624.151—012.4

Semelles de fondation d' um type nouveau — *C. Laucher.*

Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 15.

C. D. U. 624.2 : 621.0

Le pont de commerce sur la Meuse, à Liège — *H. Louis.*

Acier, 3-3-958, vol. 23, n.º 3, pág. 105-116.

C. D. U. 624.21.059.25

Reconstruction du pout de Sieg à Dreistiefenbach — *Heinz Schmidt e Hans Wittfoht.*

Béton Armé, 1-2-958, n.º B, pág. 36.

Artigo traduzido de «Die Bautechnik», Abril, 1957.

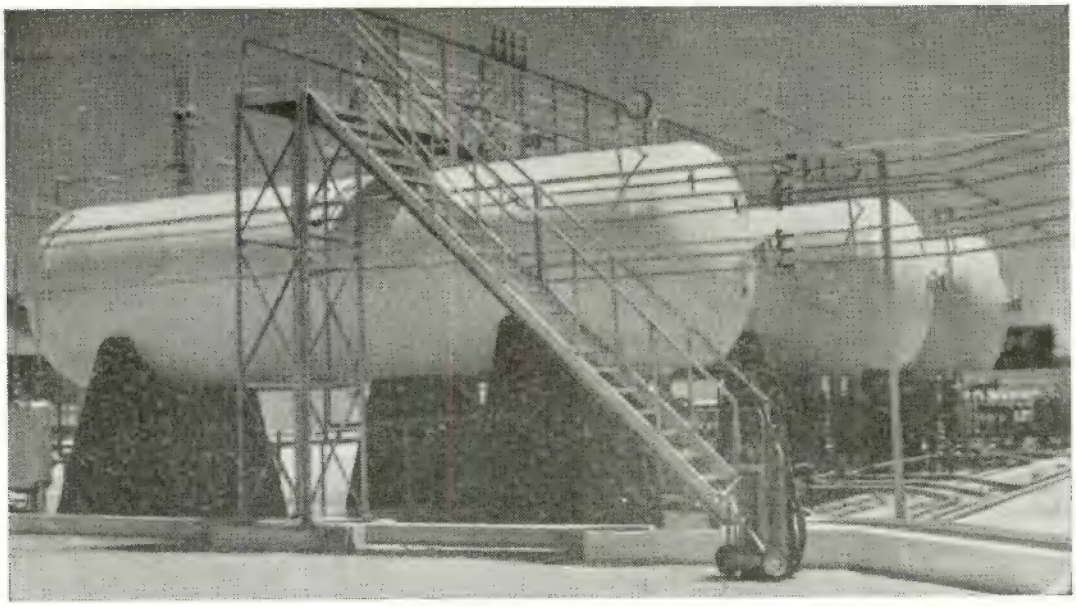
C. D. U. 624.21 (09) (46)

História del puente en España — *Fernandez Casado.*

Informes de la Construcción, 1-958, n.º 97.

VALENTINE

ACABAMENTOS INDUSTRIAIS



Reservatórios da CIDLA/SACAVÉM

Uma boa aplicação do esmalte VALENITE

Para primários, aparelhos, tintas especiais, esmaltes, e todos os acabamentos, consulte sempre a VALENTINE

Sociedade Valentine Portuguesa, S. A. R. L.

LISBOA
Rua do Alecrim, 49
Tel. 36 81 81/82

PORTO
Rua do Bolhão, 200
Tel. 2 63 44

C. D. U. 624.63/67 (44)

Le nouveau pont d'Ivry sur la Seine (France) — *Thibault*
Acier Stabl Steet, 12-957, n.º 12, pág. 491-496.
15 figuras.

C. D. U. 624.7 (87)

Puente nueva república Caracas — *Ricardo Morandi.*
Informes de la Construcción, 12-957, n.º 96.

C. D. U. 625.14

Principios constructivos modernos en la supreestructura de ferrocarriles, aplicados en la fabricacion de escorpias de resorte J. Flex e T. Flex — *Klein e Wegner.*
Revista de Obras Públicas, 11-957, n.º 2911, pág. 612-615.

C. D. U. 625.72

Recomendaciones para el estudio del terreno y localijacion de canteros de materiales para uma carretera RLT — 101/57.
Revista de Obras Públicas, 12-957, n.º 2912, pág. 668-671.

C. D. U. 625.84 + 624.138.51

Critérios actuales y tendencias en los projectos y construcciones de los pavimentos de hormigon y suelo-cemento — *Garcia Balado.*
Cemento Portland, 12-957, n.º 45, pág. 5-15.
Várias fotografias e 8 referências bibliográficas.

C. D. U. 627.51

Endiguement de la rivière Beas au droit du pont ferroviaire de l'embranchement — Mirthal Mukerian — Pathankot — *Ujjal, Singh e Shahani.*
La Houille Blanche, 12-957, n.º 6, pág. 857-872.

C. D. U. 627.7 : 627.82 (497.1)

La sedimentation des réservoirs des grands barrages hidroélectiques et les aspets perticuliers de ce problème en Yougoslavie — *Messines du Sourbier.*
La Houille Blanche, 1957, n.º B, pág. 674-681.
11 referências bibliográficas.

C. D. U. 627.82 : 627.7 (497.1)

La sedimentation des réservoirs des grands barrages hidroélectriques et les aspects particuliers de ce problème en Yougoslavie — *Messines du Sourbier.*
La Houille Blanche, 1957, n.º B, pág. 674-681.
11 referências bibliográficas.

C. D. U. 627.821 — 012.47

Ernestina — *Páez.*
Informes de la Construcción, 12-957, n.º 96.

C. D. U. 627.84 : 624 058

Essais de mise en pression de la galerie D'amenée Dixence — Bagnes — *R. Cotter et G. Welti.*
Bulletin Technique de la Suisse Romande, 18-1-958, vol. 84, n.º 2, pág. 21.

C. D. U. 691.327 — 127

Contribution a l'etude des problèmes posés par l'utilisation des bétons Légers — *H. Bodecher.*
Annales de I. T. B. et Traveaux Publics, 12-957, vol. 10, n.º 120, pág. 1319.

C. D. U. 691.328

Hormigón armado... com bambú
Cemento Hermingon, 12-957, vol. 23, n.º 285, pág. 598.

C. D. U. 691.544 [620.163 : 519.25]

Una fuente de errores en el ensayo de los cementos — *R. Hayden.*
Cemento Hermingon, 12-957, vol. 23, n.º 285, pág. 582.

C. D. U. 691.544.2

La compasition du ciment Portland et la pression optimum de vapeur dans le traitement des piéces en beton a l'autoclave — *L. A. Malinina.*
Béton Armé, 10-12-957, vol. 1.º, n.º 7, pág. 36.

C. D. U. 691.544.2 [543.7]

Interpretaccion del análisis químico de las humos en los hornos de cemento portland *Daria López Peciña.*
Cemento Hermigon, 12-958, vol. 23, n.º 285, pág. 570.

C. D. U. 696.6 : 621.316

Tendences internationales sur les méthodes d'installations électriques — *R. Comtet.*
Annales de I. T. B. et Traveaux Publics, 7-957, vol. 10, n.º 120, pág. 1335.

C. D. U. 725.91

Torre Hermes exposicion de Hannóver — *Fritz Leonhardt.*
Informes de la Construcción, 11-957, n.º 95.

C. D. U. 727.4

Institut National d'Agronomie Tropicale — *Michel Roux — Spitz.*
L'Architecture Française, 1948, n.º 81-82, pág. 31.

C. D. U. 728.1

Caisse Centrale d'Allocations Familiales de la région parisienne, conception architecturale — *Lopez e Reby.*
Acier Stahl Steet, 9-957, n.º 9, pág. 337-339.

C. D. U. 728.1

Caisse Centrale d'Allocations Familiales de la région parisienne. Realisation technique — *Pascaud.*
Acier Stahl Steet, 9-957, n.º 9, pág. 340-350.

C. D. U. 728.2

Casa — Estudio de um escultor — *Erno Venturelli.*
Informes de la Construccion, 5-957, n.º 91, pág. 161-55.

ATLANTIC
UMA TINTA
PARA CADA FIM
FABRICA LUSITANA
DE TINTAS E VERNIZES
LIMITADA
FUNDADA EM 1917

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

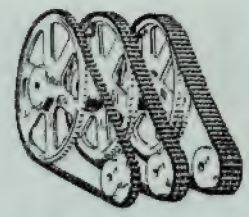
Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

RÓDIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**



RENOLD

Deslise suave

Exemplo típico de corrente transportadora RENOLD accionando uma plataforma de deslise suave numa máquina de encher latas que também emprega três transmissões RENOLD

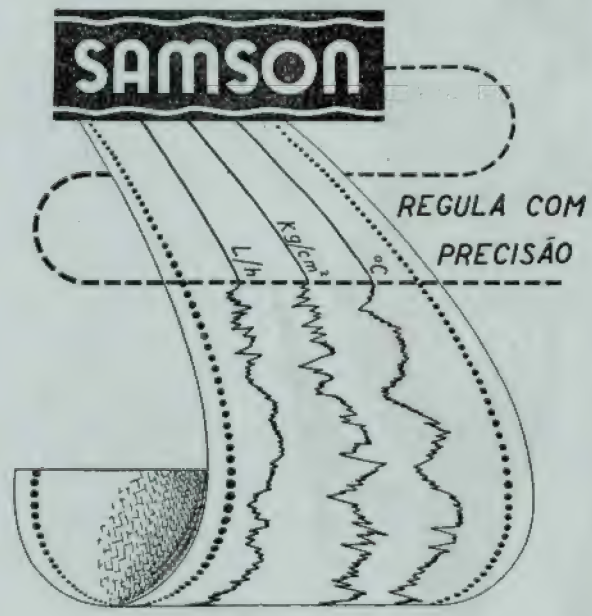
Correntes de aço para Elevadores e Transportadores

Agentes e Depositários:

HARKER, SUMNER & C.A, L.DA

PORTO — 38, Rua de Ceuta, 48

LISBOA — 14, Largo Corpo Santo, 18



TEMPERATURA, PRESSÃO E DÉBITOS
PARA VAPOR, ÁGUA, AR, ÓLEO E OUTROS FLUIDOS

BOUHON & IRMÃO, LTD.

EM LISBOA: Av. Júlio Diniz, 26, r/c Esq.
Telef.: 77 36 03, 77 86 85

NO PORTO: Rua Antero do Quental, 615
Telef. 4 0118 — 4 0119

MATERIAL ELÉCTRICO

para instalações de alta e baixa tensão

•

ESPECIALIDADES **GARDY:**

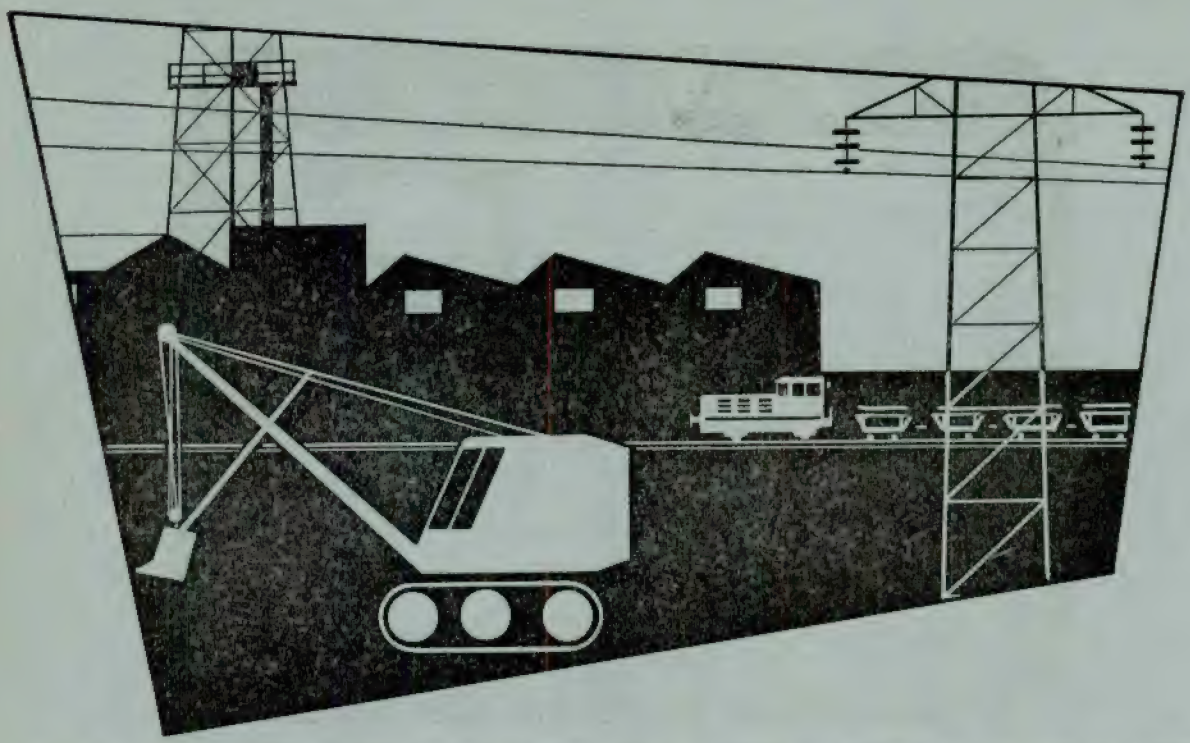
Corta-circuitos e cartuchos de alto poder de corte
Disjuntores para força motriz e iluminação
Disjuntores de calibres variáveis
Disjuntores MINIHUILLE, até 35 kV
Dispositivos de corte em carga para seccionadores, etc.

REPRESENTANTE:

ANTÓNIO BARÓ

Rua da Assunção, 99-2.º-Dt.º

LISBOA



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS. ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS - ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES C. SANTOS LDA. — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

• SINCRONISMO •

TENSÃO • CORRENTE

FACTOR DE POTENCIA

Aparelhos de alta qualidade para

MEDIDAS ELECTRICAS

PARA A INDÚSTRIA
LABORATÓRIOS E ENSINO

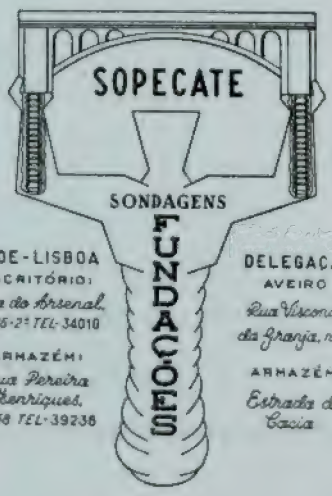
INDUSTRIA NACIONAL

Soc. **electrom** Lda.

Largo de S. Carlos, 8 - 2.°

• POTENCIA • FREQUENCIA •

Sociedade de Pesquisas, Captações de Água e Transportes, L.da



PARA TODOS OS VEÍCULOS AUTOMÓVEIS LIGEIROS E PESADOS

4-88

MABOR

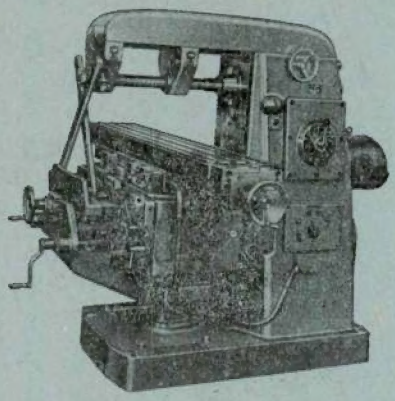
SEGURANÇA • COMODIDADE • ECONOMIA

POSTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA GRATUITA

LISBOA — Largo do Andaluz, 15-C — Telef. 57162
Av. Sidónio Pais, 4 A — Telef. 49195
Av. do Aeroporto-lote 102 — Tel. 721226
PORTO — Praça dos Poveiros, 50 — Telef. 28271
COIMBRA — Rua de Sofia, 175 — Telef. 25529
AVEIRO — Av. Dr. Lourenço Peixinho, 242-Tel. 414
BEJA — Av. Miguel Fernandes, 15 — Telef. 298
BRAGA — Av. Marechal Gomes da Costa-Tel. 2074
C. BRANCO — Av. Marechal Carmona — Tel. 53
COVILHÃ — Largo do Infantaria 21 — Tel. 22044
FARO — Avenida dos Mercados — Telefone 578
SANTARÉM — Largo da Piedade — Telefone 844
VILA REAL — Av. Carvalho Araújo, 46 — Tel. 204
VISEU — Avenida 28 de Maio — Telef. 22901

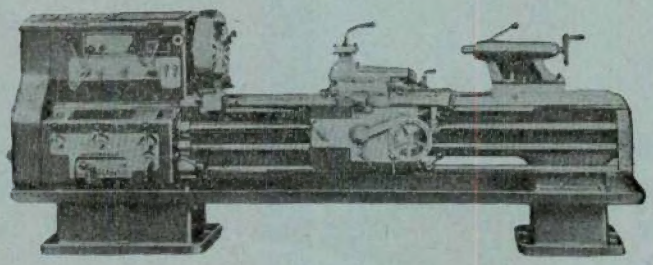
MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos verticais ◆ Tornos Paralelos
Limadores ◆ Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas ◆ Escateladores
Plainas ◆ Mandriladoras



Entrega imediata

nos nossos Armazéns de LISBOA, PORTO e LUANDA



MÁQUINAS DE PRECISÃO, L.DA

(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LISBOA: Rua da Boa Vista, 45 a 49
Tel. 66 60 86-7

PORTO: R. de Santa Catarina, 653 a 663
Tel. 2 8720

LUANDA: R. Direita de Luanda, 150
Caixa Postal 304

TABELAS TÉCNICAS
PARA
ENGENHARIA CIVIL

POR

NUNO ABRANTES

E

A. CELESTINO DA COSTA

Sob a direcção do Prof. Vicente Ferreira

4.ª Edição revista e aumentada

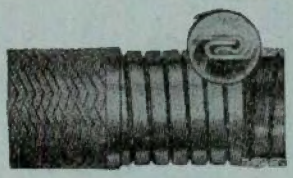
PELOS ENGENHEIROS

Fernando Abecasis e Sidónio Brazão Farinha

PEDIDOS À «TÉCNICA»

Preço: 120$00

Assinantes: 10% de desconto



"HIDRA"

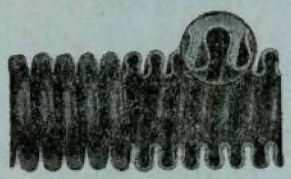
Tubo agrafado

Tubos metálicos flexíveis

Para os mais diversos fins

Fabrico Alemão de

Metallschlauch — Fabrik Pforzheim



Tubo ondulado

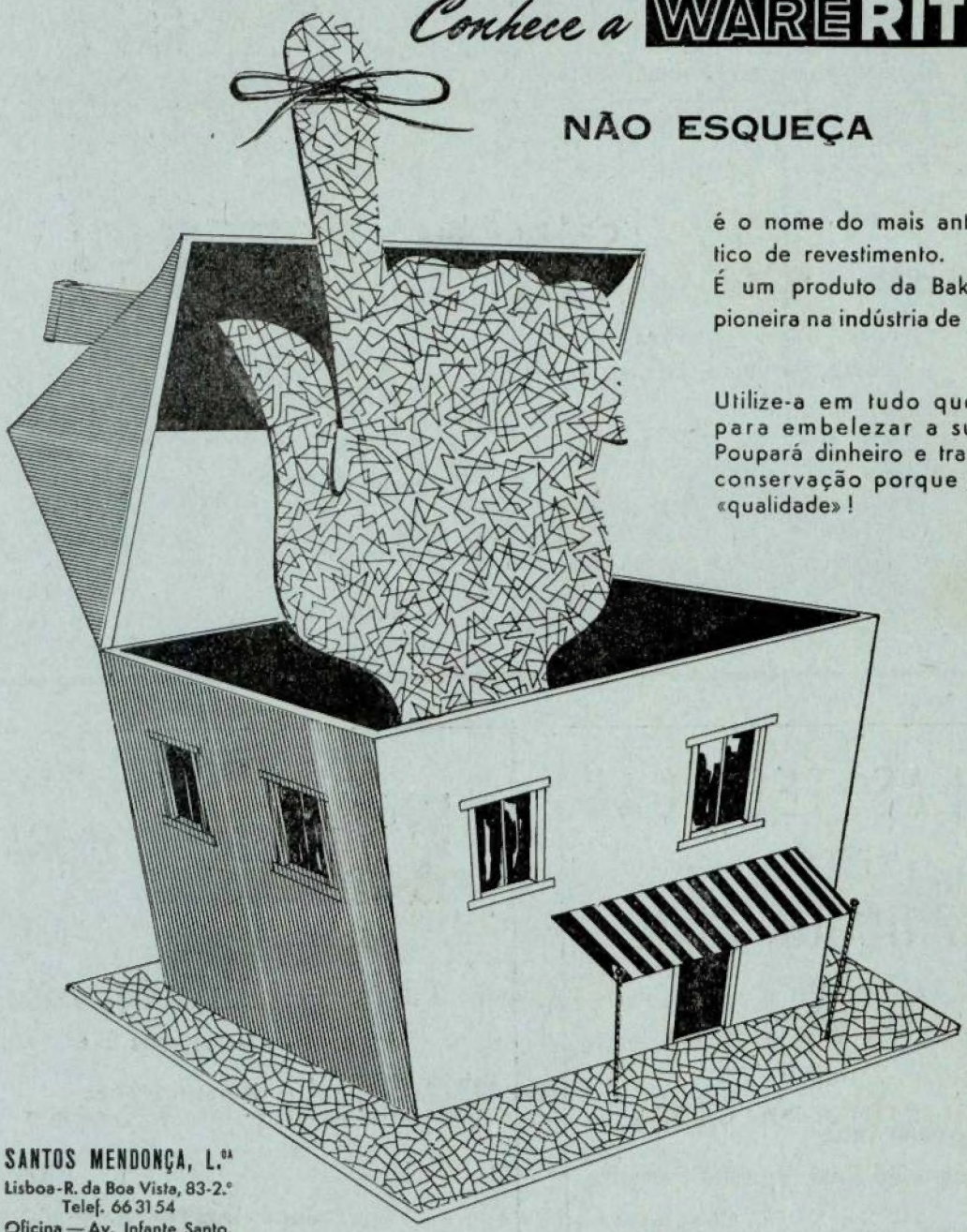
Representantes em Portugal e Ultramar:

Soc. For. Ac. Industriais

SOFAI, LDA.

LISBOA Av. João XXI, 20-C ◆ Tel. 72 11 95

Conhece a WARERITE?



NÃO ESQUEÇA

é o nome do mais antigo plástico de revestimento.
É um produto da Bakelite Ltd. pioneira na indústria de plásticos.

Utilize-a em tudo que quiser para embelezar a sua casa. Poupará dinheiro e trabalho de conservação porque utilizará «qualidade»!

SANTOS MENDONÇA, L.DA
Lisboa-R. da Boa Vista, 83-2.º
Telef. 66 31 54
Oficina — Av. Infante Santo, Lote 2 — Telefone 66 82 92
No Porto-R. Sá da Bandeira, 605-2.º — Telef. 24008

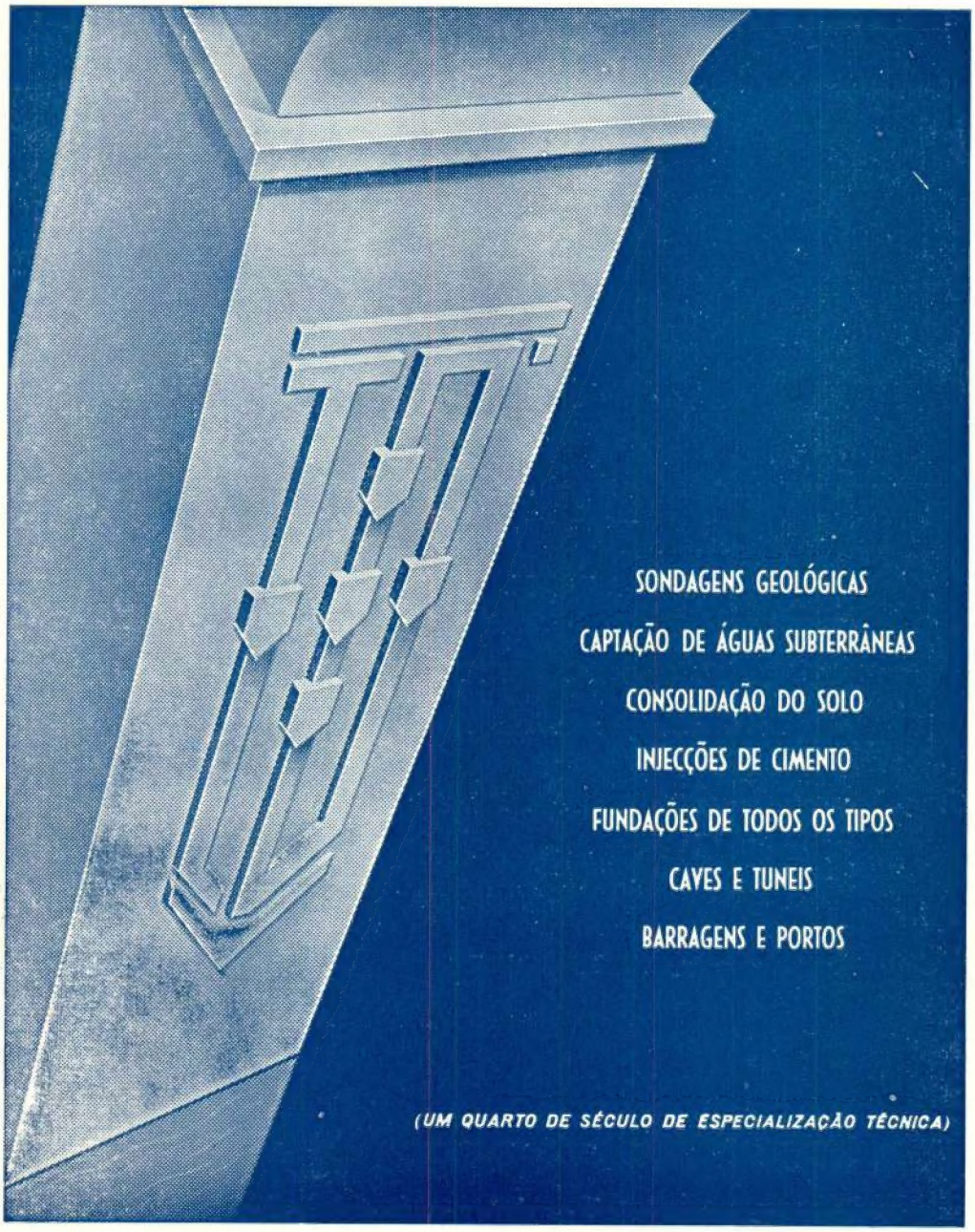
EXIJA SEMPRE EM CADA CHAPA A MARCA ORIGINAL "WARERITE"

Empresa de Sondagens e Fundações

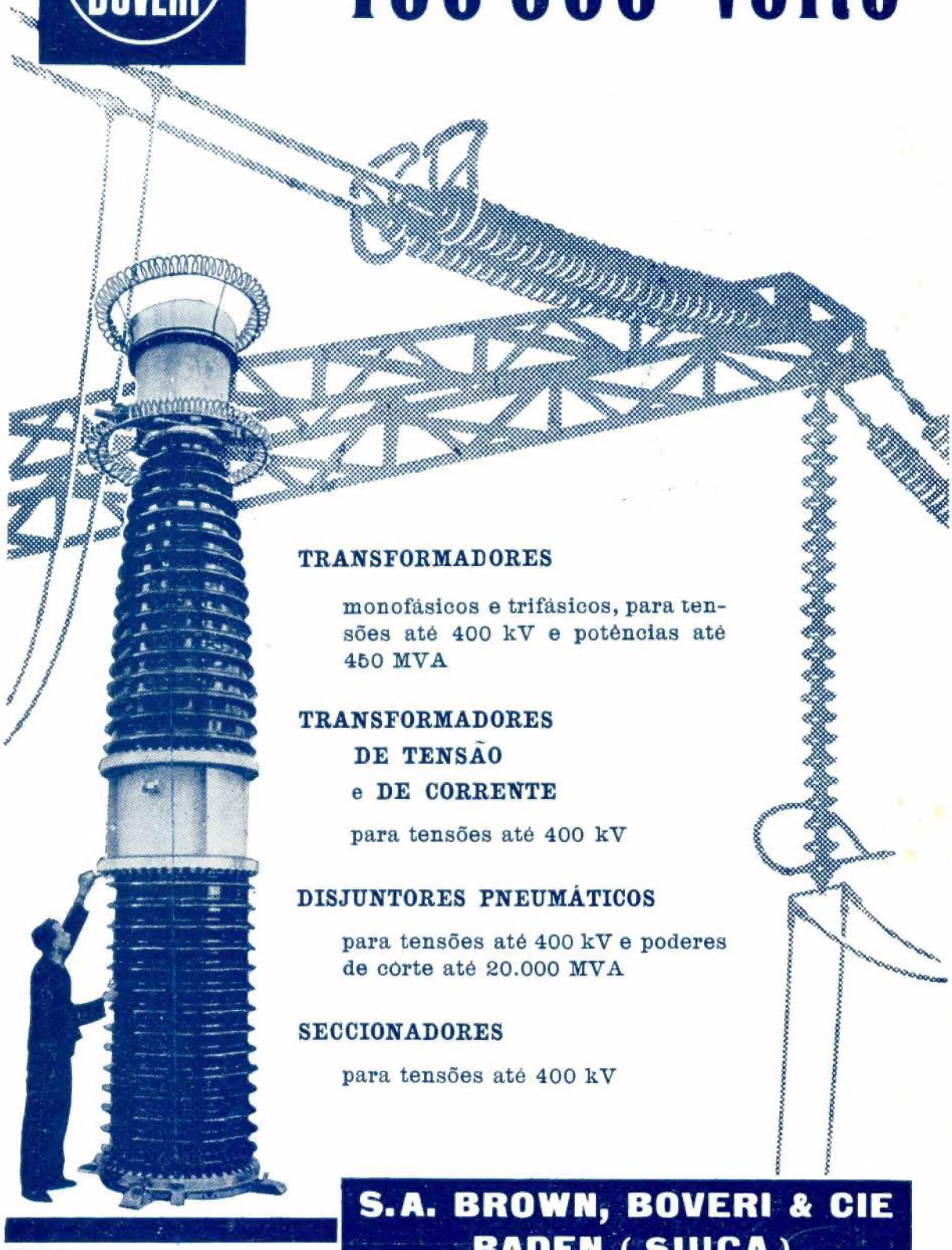
TEIXEIRA DUARTE, L.DA

PR. DA FIGUEIRA, 18. 3.°
TELEF. 3 2774

LISBOA



400 000 volts



TRANSFORMADORES

monofásicos e trifásicos, para tensões até 400 kV e potências até 450 MVA

TRANSFORMADORES DE TENSÃO e DE CORRENTE

para tensões até 400 kV

DISJUNTORES PNEUMÁTICOS

para tensões até 400 kV e poderes de corte até 20.000 MVA

SECCIONADORES

para tensões até 400 kV

85175·I

S.A. BROWN, BOVERI & CIE
BADEN (SUIÇA)

Representante em Portugal e Ultramar: Soc. de Elect. BROWN BOVERI, Ltda

Rua de Sá da Bandeira, 481, 2.º - D. – PORTO — Telef. 23411